Unité d'Enseignement L3 : Introduction aux télécommunications

Gilles Menez

Université de Nice – Sophia-Antipolis
Département d'Informatique
email : menez@unice.fr
www : www.i3s.unice.fr/~menez

24 janvier 2012: V 1.1

Université Nice SOPHIA ANTIPOLIS

Introduction

- Pourquoi proposer une option `télécommunications` ?
- Pourquoi la suivre ?
- Quel est l'ambition de ce cours ?

Télécommunications

Le mot **télécommunication** (début 1900) : ”partager de loin”

- du préfixe grec ≪ tele ≫, signifiant **loin**,
- et du latin ≪ communicare ≫, signifiant **partager**.

Dans le cadre du cours, les télécommunications :

① un processus de 3 phases : **émission, transmission** et **réception**.

② une information :

- signes,
- signaux,
- écrits,
- sons,
- images,
- . . .

③ un médium :

- fil électrique,
- câble coaxial,
- fibre optique,
- atmosphère,
- . . .

Télécommunications et Sciences

Les télécommunications sont souvent considérées comme des technologies et techniques appliquées et non comme une science.

Un lieu de convergence et d'interaction entre différentes disciplines scientifiques :

① Les **mathématiques** formalisent les développements des théories du traitement du signal, de la cryptologie (sécurisation des échanges), de la théorie de l'information et du numérique.

② La **physique/chimie** définit les médias de transmission : électricité, radioélectricité, lumière.

Elle participe au développement des "composants" de télécommunications : tubes, transistors, électronique et opto-électronique, microprocesseurs, fibre. . .

Elle permet d'améliorer le poids et l'autonomie des batteries.

③ L'**informatique** intervient dans les mécanismes de conception et d'exploitation des télécommunications.

Objectif pédagogique

L'objectif de ce cours est d'essayer d'exposer simplement quelques concepts du domaine des télécommunications à un public d'informaticiens "en herbe" :-)

① C'est destiné à être "une leçon de choses"
② qui aurait pour ambition de former et d'apprendre,
③ mais aussi et surtout d'inviter à l'approfondissement !

Encore beaucoup de travaux (recherche et industrie) à mener . . .

➠ pour vous greffer directement votre GSM entre l'oreille et la bouche . . .
➠ et ensuite prévoir un plugin de connexion neuronale pour le clavier des SMS !

Université Nice SOPHIA ANTIPOLIS

Télécommunications modernes

- Un peu d'histoire,
- Des perspectives . . .

Ca explique souvent le présent !

Télécommunications ... électr*.*

Au début des télécommunications ”modernes” (1840), des inventeurs comme

- Samuel Morse avec le **télégraphe** ,
- Antonio Meucci / Alexander Graham Bell avec le **téléphone** ,
- Guglielmo Marconi avec la **radio** ,

ont proposés des dispositifs qui ont révolutionnés les moyens traditionnels tels que les **pavillons** (ou le télégraphe optique) de Claude Chappe.

Les télécommunications ”modernes” se caractérisent par l’utilisation des avancées dans les domaines de

- ✔ **l’électricité**,
- ✔ **l’électromagnétisme**,
- ✔ **l’électronique**,

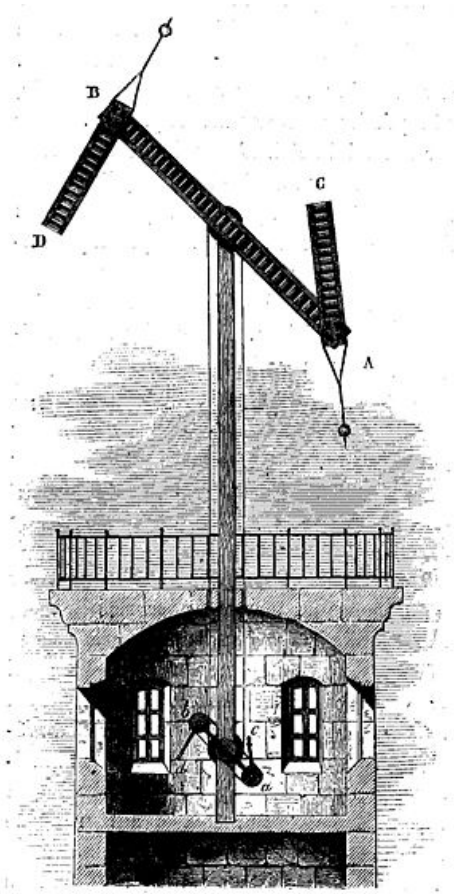
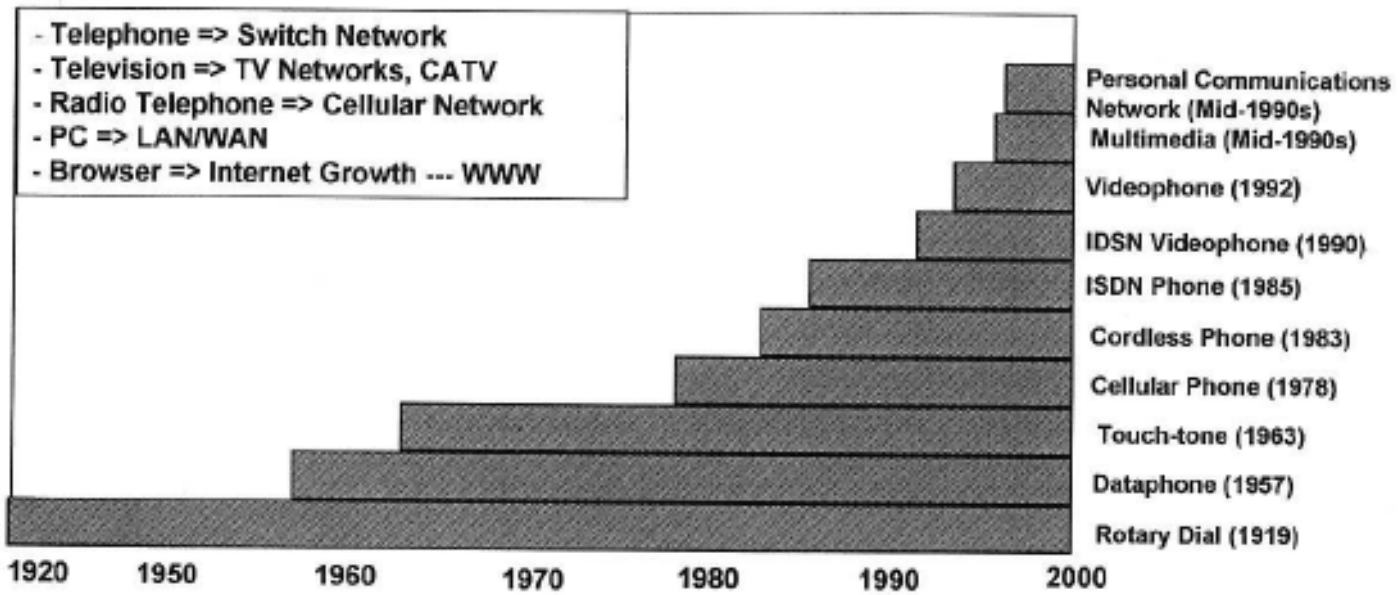


Fig. 19. — Télégraphe de Chappe.

Evolution constante des produits/services/usages !



Convergence des produits/services/usages vers des systèmes de télécommunication :

- ✔ mobiles,
- ✔ multimédia (parole, image, données, musique, vidéo, . . .) ,
- ✔ et multi-échelles (du PAN au WAN).

L'industrie des télécommunications

Les télécommunications constituent une partie importante de l'économie mondiale, et font l'objet de régulations au niveau mondial.

Exportations mondiales de marchandises, par grand groupe de produits, 2010

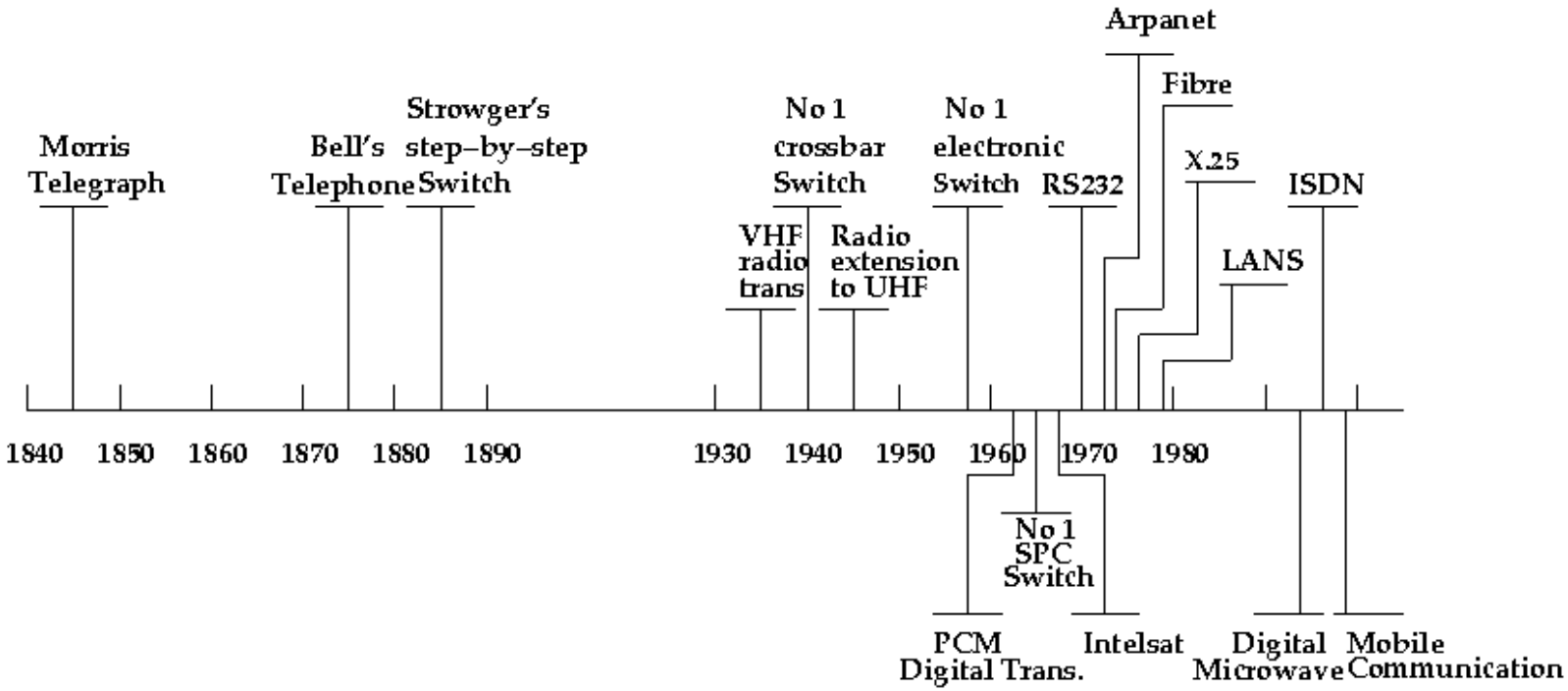
(Milliards de dollars et pourcentage)

	Valeur	Part dans les exportations mondiales de marchandises	Variation annuelle en pourcentage								
			1980-85	1985-90	1990-95	1995-00	2000-05	2005-10	2008	2009	2010
Produits agricoles	1362	9.2	-2	9	7	-1	9	10	19	-12	15
Combustibles et produits des industries extractives	3026	20.4	-5	3	2	10	16	11	33	-36	33
Combustibles	2348	15.8	-5	0	1	12	17	10	41	-37	30
Produits manufacturés	9962	67.1	2	15	9	5	9	6	10	-20	20
Fer et acier	421	2.8	-2	9	8	-2	17	6	22	-45	29
Produits chimiques	1705	11.5	1	14	10	4	13	9	13	-14	18
Equipement de bureau et de télécommunication	1603	10.8	9	18	15	10	6	5	3	-15	21
Produits de l'industrie automobile	1092	7.4	5	14	8	5	10	3	3	-31	29
Textiles	251	1.7	-1	15	8	0	5	4	5	-16	19
Vêtements	351	2.4	4	18	8	5	7	5	5	-13	11

http://www.wto.org/french/res_f/statis_f/its2011_f/its11_toc_f.htm

➟ Les investissements ont été et sont encore gigantesques !

Phases d'évolution des télécommunications



Phase 1 : Téléphonie

Trafic : Voix
Commutation : Circuit (analogique)
Média :cuivre, micro onde

Phase 2 : Numérique

Trafic : Voix
Comm. : Circuit (PCM)
Média :cuivre, ondes, satellite

Phase 3 : Données

Trafic : Données
Comm. : Circuit, Paquets
Média :cuivre, ondes, satellite

Phase 4 : Intégration Numérique

Trafic : Voix, Images, Données, Vidéo
Comm. : Circuit, Paquets, Cellules
Média :cuivre, ondes, satellite, fibre

La phase de la téléphonie

- La plus longue.
- Elle ”vit” encore . . . !

La phase de téléphonie

Une première phase, la plus longue, qui est celle de la **téléphonie** .

① En 1844, Samuel Morse émet son premier message sur le `réseau télégraphique Morse`

➢ Mise en correspondance de deux points par un simple fil de fer reliant Baltimore (Maryland) et Washington DC (100 Kms).

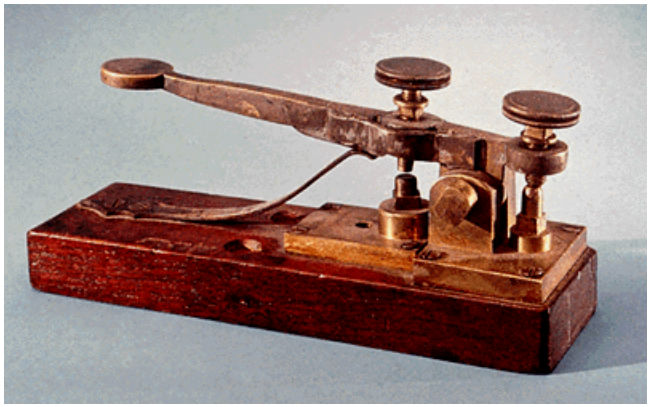
Vingt ans plus tard (1861-1865), le télégraphe joue un rôle prépondérant durant la guerre de sécession.

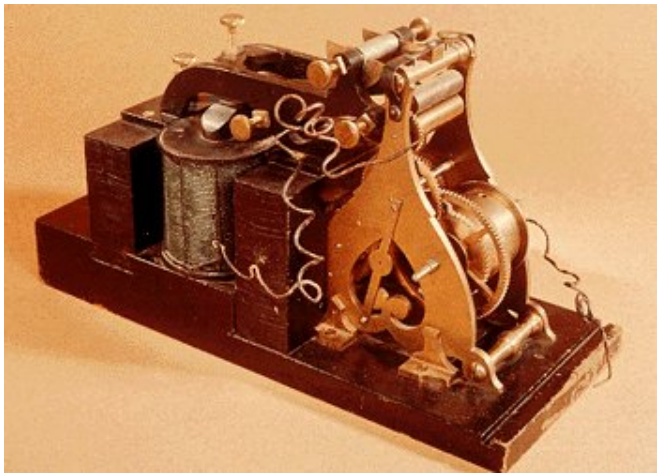
➢ Le général Grant utilise le télégraphe pour coordonner le mouvement de ses troupes durant la bataille.

En 1866, le réseau américain est long de 65.000 Kms et comprend 22.000 bureaux télégraphiques :

✔ environ 1 tous les 30 Kms !

Le télégraphe





L'invention de Morse se situe à deux niveaux :

- la **machine**, manipulateur - fil - transcripteur sur bande de papier :

  "des piles, un interrupteur, un électro-aimant et des fils"

- le **code** morse, composé de deux symboles/états :

  "courts" et "longs".

Ou est la richesse de cette première technologique ?

Samuel Morse n'a pas ≪ inventé ≫ le télégraphe,

- 50 ans auparavant (1793), le ≪ télégraphe optique ≫ de Chappe permettait la transmission de dépêches à des centaines de lieues.
- Il n'a pas non plus inventé le ≪ télégraphe électrique ≫ : Soemmerring, Steinheil, Gauss et Weber (Allemagne), Ampère (France), Schilling (Russie), Richtie, Alexander et Wheastone (UK), avaient déjà trouvé des solutions pour transmettre des messages à l'aide de l'électricité.

La contribution de Morse a été de concevoir :

- une machine simple, pratique, efficace,
- bon marché, rustique, facile à utiliser et
- surtout de réussir à convaincre (non sans mal) ses contemporains de réaliser une expérience suffisamment spectaculaire pour frapper les imaginations (la liaison Washington-Baltimore) :

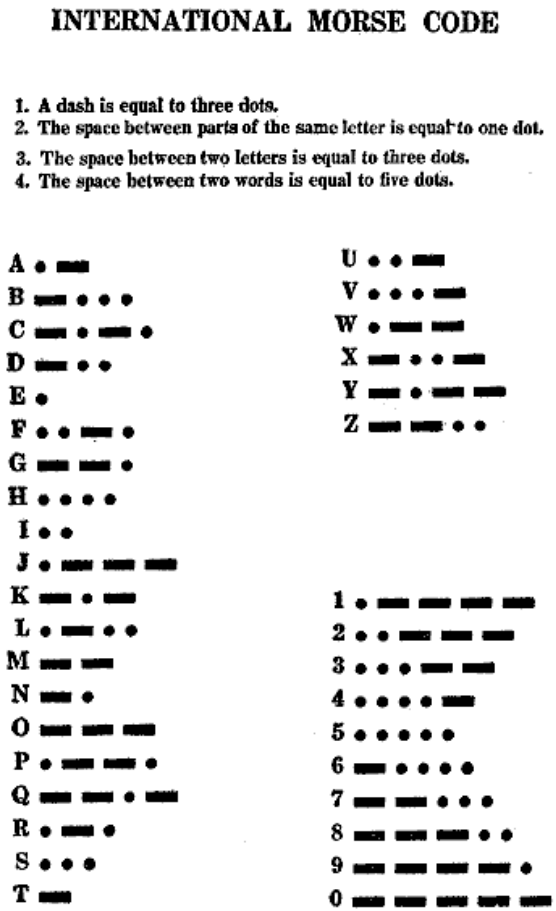
"proof of concept"

Information **NUMERIQUE** !

Le télégraphe est un système de télécommunication entièrement **numérique** :

- ➢ L'information source
- ➢ et l'information transmise

sont numériques !



INTERNATIONAL MORSE CODE

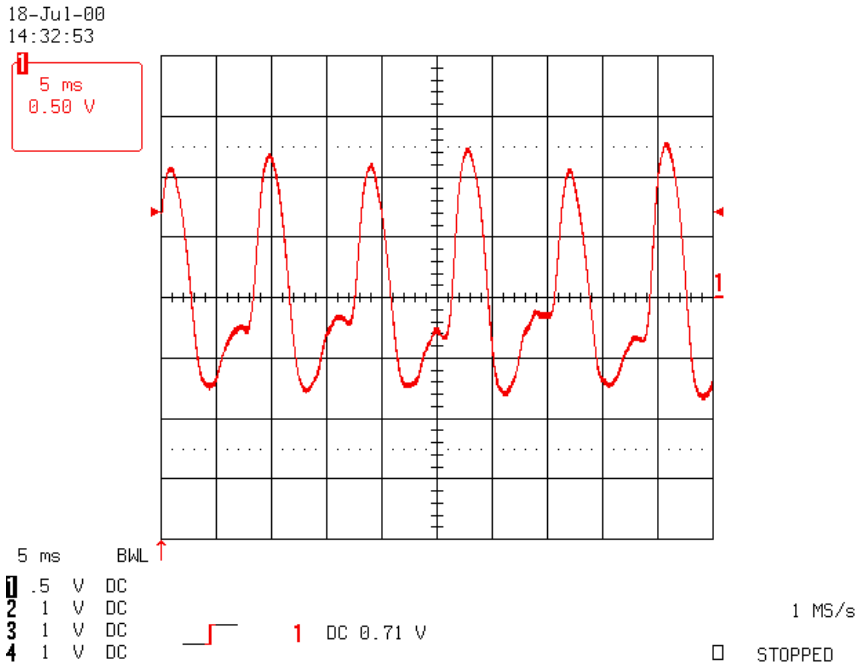
1. A dash is equal to three dots.
2. The space between parts of the same letter is equal to one dot.
3. The space between two letters is equal to three dots.
4. The space between two words is equal to five dots.

A • —
B — • • •
C — • — •
D — • •
E •
F • • — •
G — — •
H • • • •
I • •
J • — — —
K — • —
L • — • •
M — —
N — •
O — — —
P • — — •
Q — — • —
R • — •
S • • •
T —
U • • —
V • • • —
W • — —
X — • • —
Y — • — —
Z — — • •

1 • — — — —
2 • • — — —
3 • • • — —
4 • • • • —
5 • • • • •
6 — • • • •
7 — — • • •
8 — — — • •
9 — — — — •
0 — — — — —

Signal continu analogique

Le terme **analogique** provient du fait que **la mesure** d'une valeur naturelle (ou d'un élément de signal électrique) varie de manière **analogue à la source**.



Par exemple, le signal électrique fourni par un microphone est un signal **analogique** .

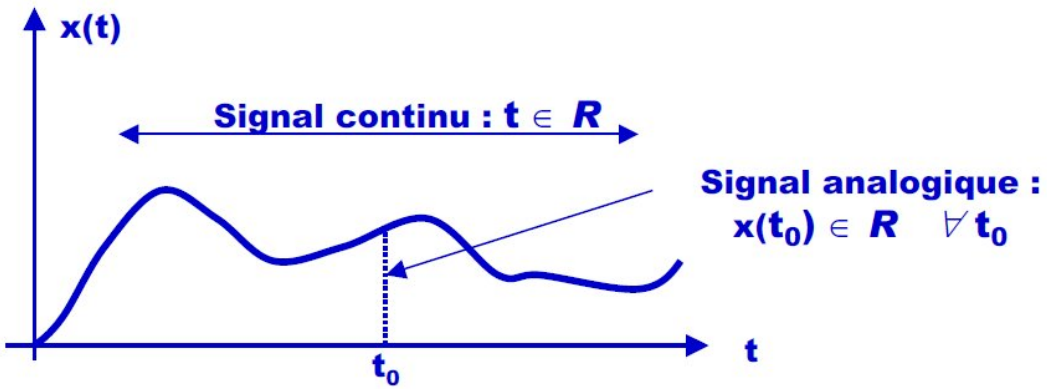
- La tension ainsi obtenue est une grandeur physique,
- Sa variation représente l'évolution de la pression sonore devant le microphone.

Le microphone est donc un **appareil** électronique (audio) **analogique** et le signal électrique qu'il produit est un **signal analogique**.

Signal continu analogique

La valeur $x(t)$ d'un signal analogique "existe", par nature, **à chaque instant t** $\in \mathbb{R}$ et a une valeur finie $x(t) \in \mathbb{R}$:

➢ On parle de signal "continu" (plus simple qu'en maths :-)



① $t \in \mathbb{R}$

② $x(t) \in \mathbb{R}$

Un "signal analogique" (le "continu" est implicite) désigne un signal qui possède ces deux propriétés : ① + ②

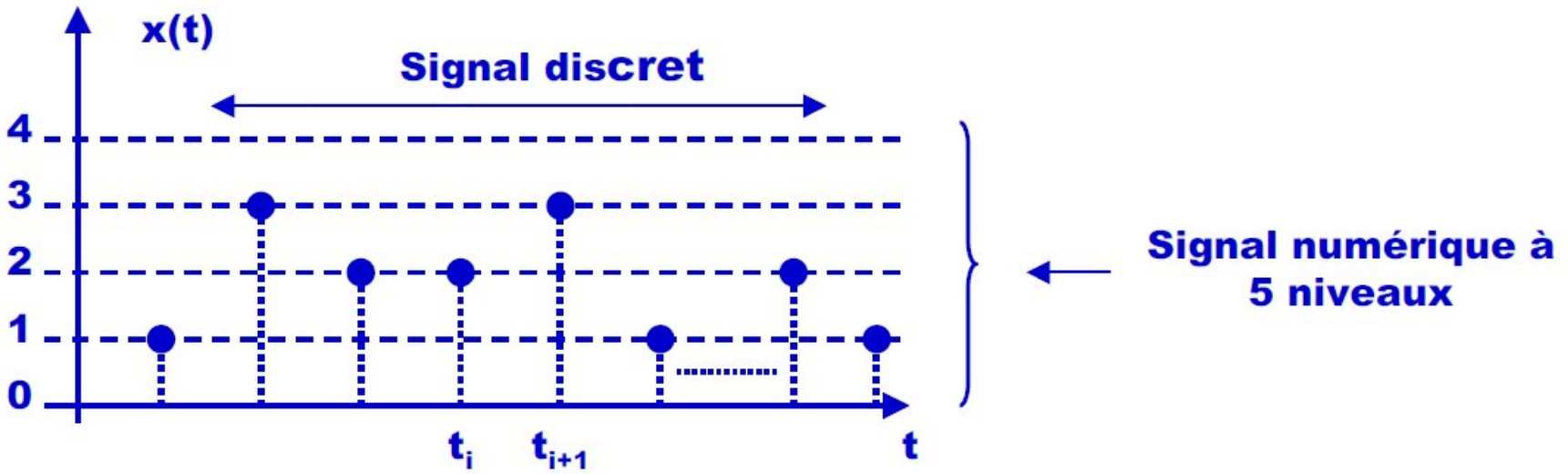
➢ C'est une classe importante de signaux autour de laquelle a été, par exemple, développée la téléphonie de Graham Bell.

➢ **Et pourtant les télécommunications commencent par le numérique !**

Signal discret numérique

Un **signal discret** (discrétisé en temps) est un signal dont la valeur n'est mesurable qu'à certains instants.

➢ Il n'est **pas défini/connu** pour tout $t \in \mathbb{R}$.

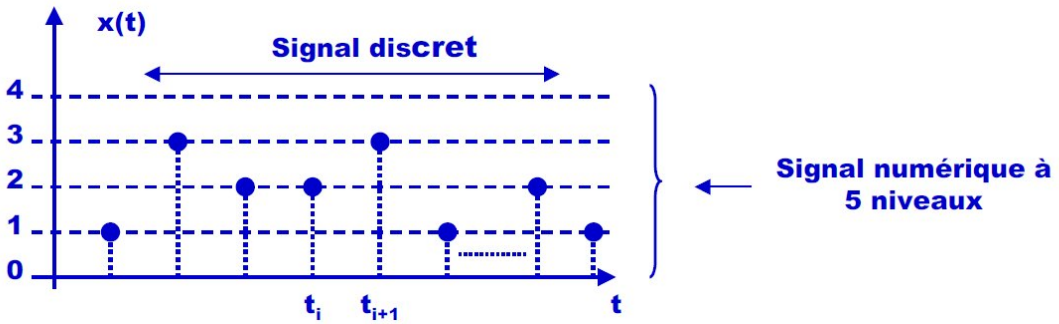


Un cas particulier important est celui où deux instants ti et ti+1 de définition sont séparés du même temps *Te* appelé **période d'échantillonnage** :

$$Te = t_{i+1} - t_i \ \forall i$$

Signal discret numérique

Un **signal numérique** (discrétisé en valeurs) est un signal dont la mesure à un instant t ne peut prendre que certaines valeurs :



- Signal binaire : 2 valeurs,
- Signal ternaire : 3 valeurs

. . .

Souvent, notamment au niveau du stockage, on parle de signal numérique pour désigner un signal qui possède ces deux propriétés.

- C'est la seconde catégorie importante de signaux autour de laquelle a été développée l'électronique logique et numérique.

L'évolution de la connaissance scientifique théorique et technologique (notamment la banalisation de l'utilisation des ordinateurs) a permis d'utiliser plus amplement le numérique !

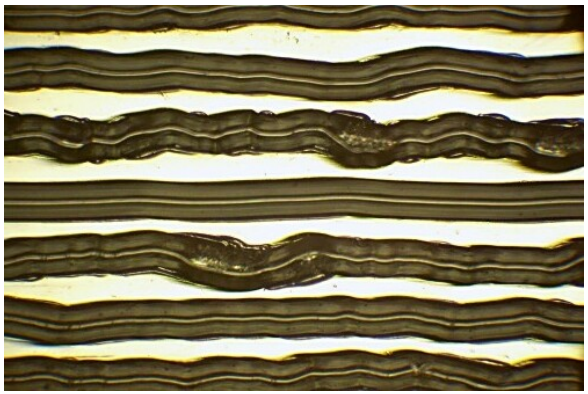
Numérisation

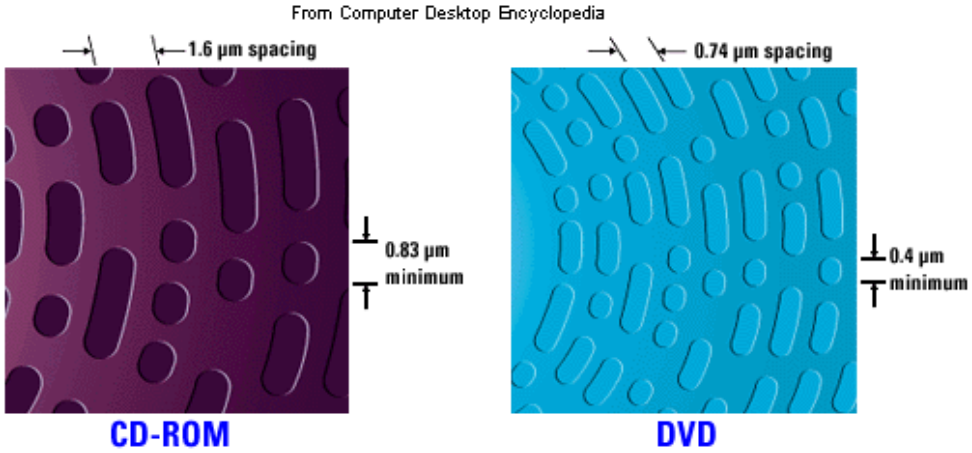
- Pulse Code modulation

Intérêts de la numérisation

Un signal numérique présente d'énormes avantages . . . notamment lors de la transmission !

http://www.micrographia.com/projec/projapps/viny/viny0200.htm





Comparé à un signal analogique, le signal numérique est :

- plus **tolérant** aux bruits et donc plus **facile à regénérer**,
- plus ”compact” ($t \in \mathbb{N}, x(t) \in \mathbb{Z}$) ,
- plus **simple à implanter** électroniquement donc ”informatisable”.

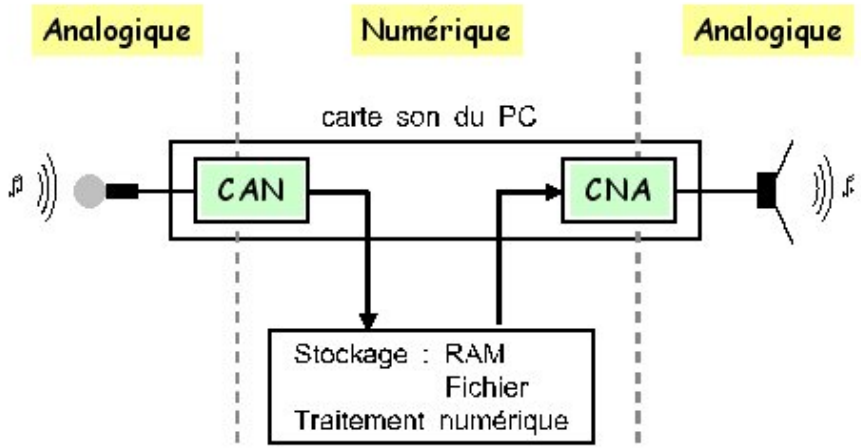
Convergence numérique :

De plus, aprés codage, il permet un **formalisme identique** pour les flux de parole, images, données.

CAN/CNA

Pour ”numériser” les flux d’informations du monde réel, il est donc nécessaire de procéder à une double conversion :

- en entrée
- et en sortie de la communication.



Convertisseur Analogique Numérique : Analog to Digital Converter
CAN : ADC

Convertisseur Numérique Analogique : Digital to Analog Converter
CNA : DAC

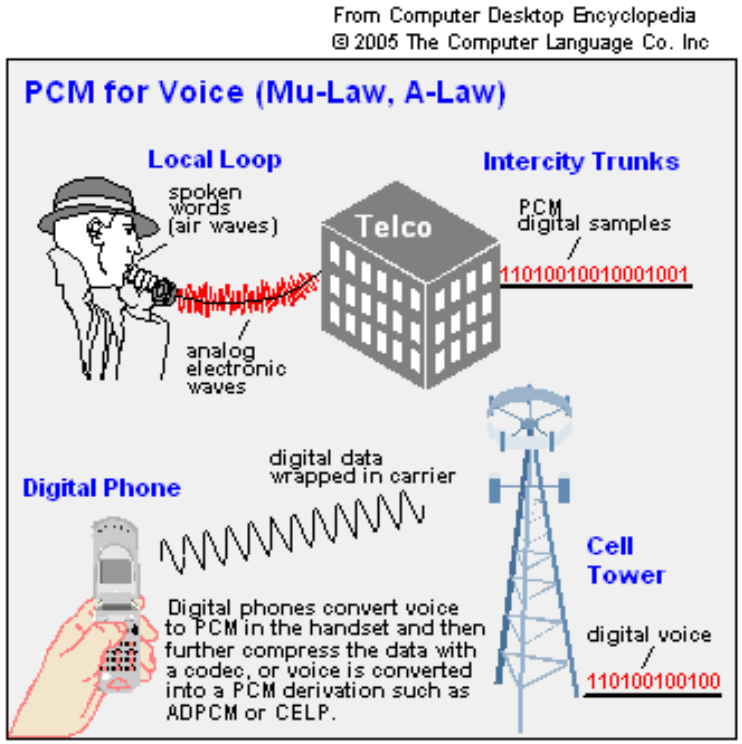
Pulse Code Modulation (PCM)

En francais, **Modulation par Impulsions Codées** (MIC) :

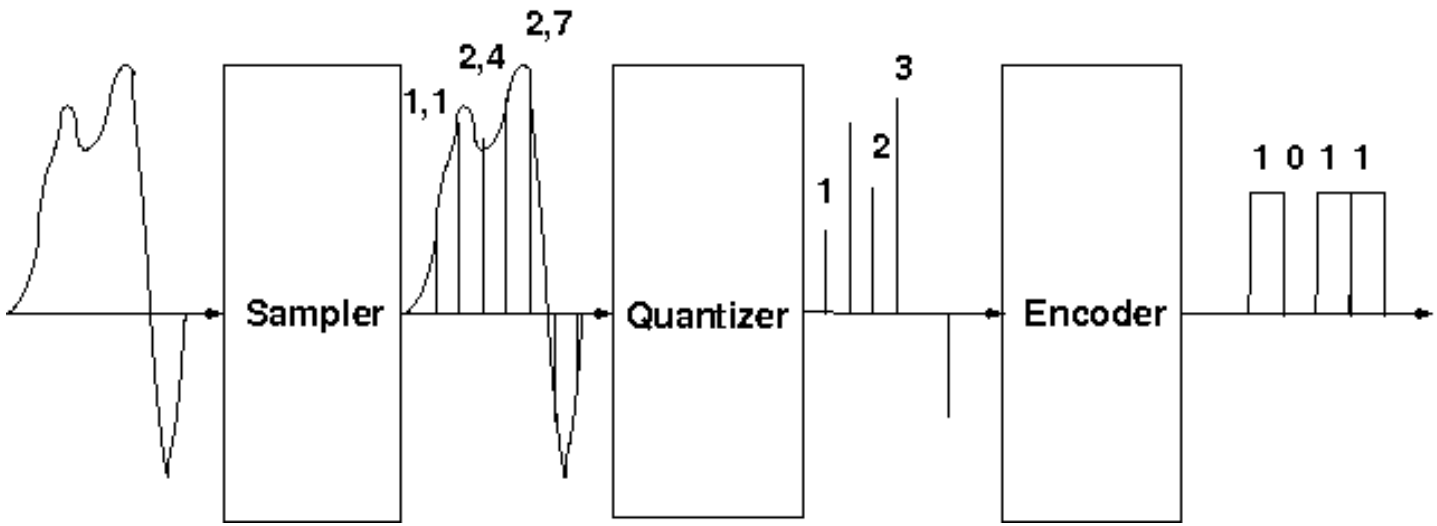
Il s'agit d'une méthode de représentation numérique non compressé d'un signal analogique via une technique d'échantillonnage .

Elle est utilisée :

- pour la voix, en télécommunications (RTC ou VoIP)
- pour le son, notamment pour les disques compacts audio (CD), pour l'enregistrement sur bandes DAT, les disques optiques à haute capacité (Blu-ray et HD DVD), ainsi que pour les fichiers WAV standards.
- . . .


From Computer Desktop Encyclopedia
© 2005 The Computer Language Co. Inc
PCM for Voice (Mu-Law, A-Law)
Local Loop
Intercity Trunks
spoken words (air waves)
Telco
PCM digital samples
11010010010001001
analog electronic waves
digital data wrapped in carrier
Digital Phone
Cell Tower
Digital phones convert voice to PCM in the handset and then further compress the data with a codec, or voice is converted into a PCM derivation such as ADPCM or CELP.
digital voice
110100100100

Pulse Code Modulation (PCM) : 3 étapes



Les trois étapes de l'opération de PCM sont :

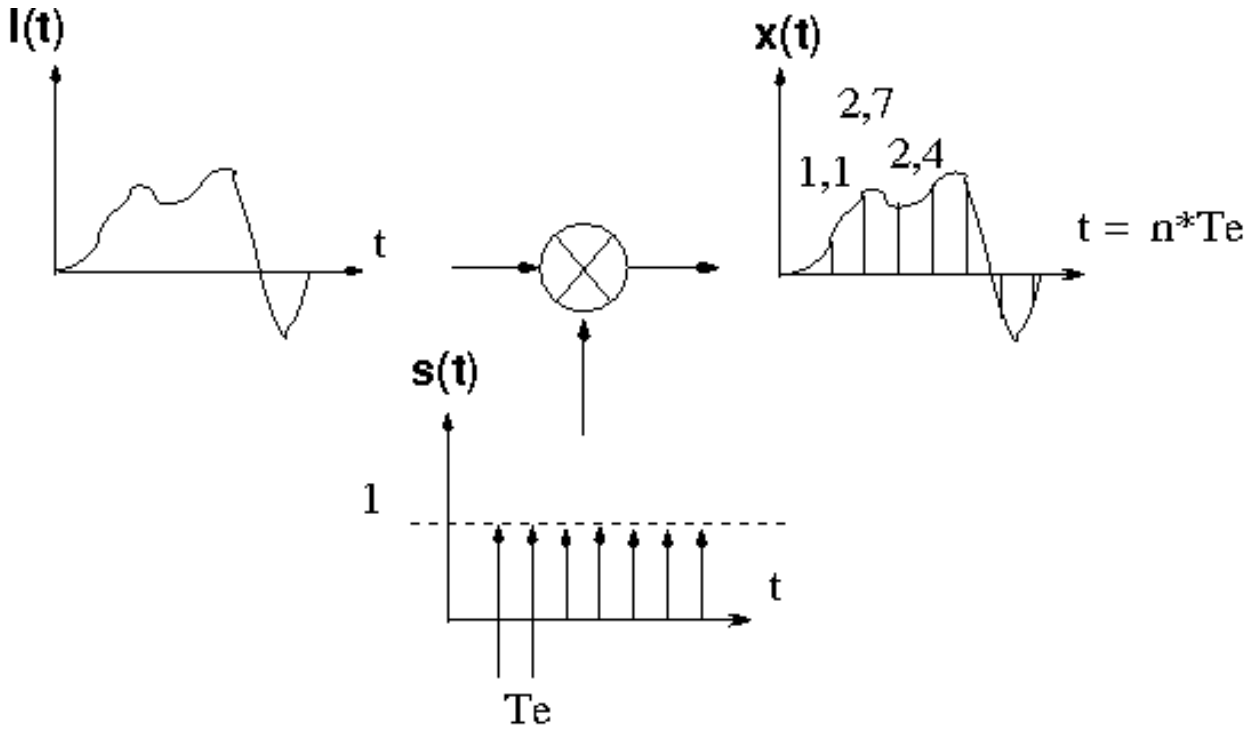
① **Echantillonnage** (Sampling)

② **Quantification** (Quantizing)

③ **Encodage** (Encoding)

Echantillonnage

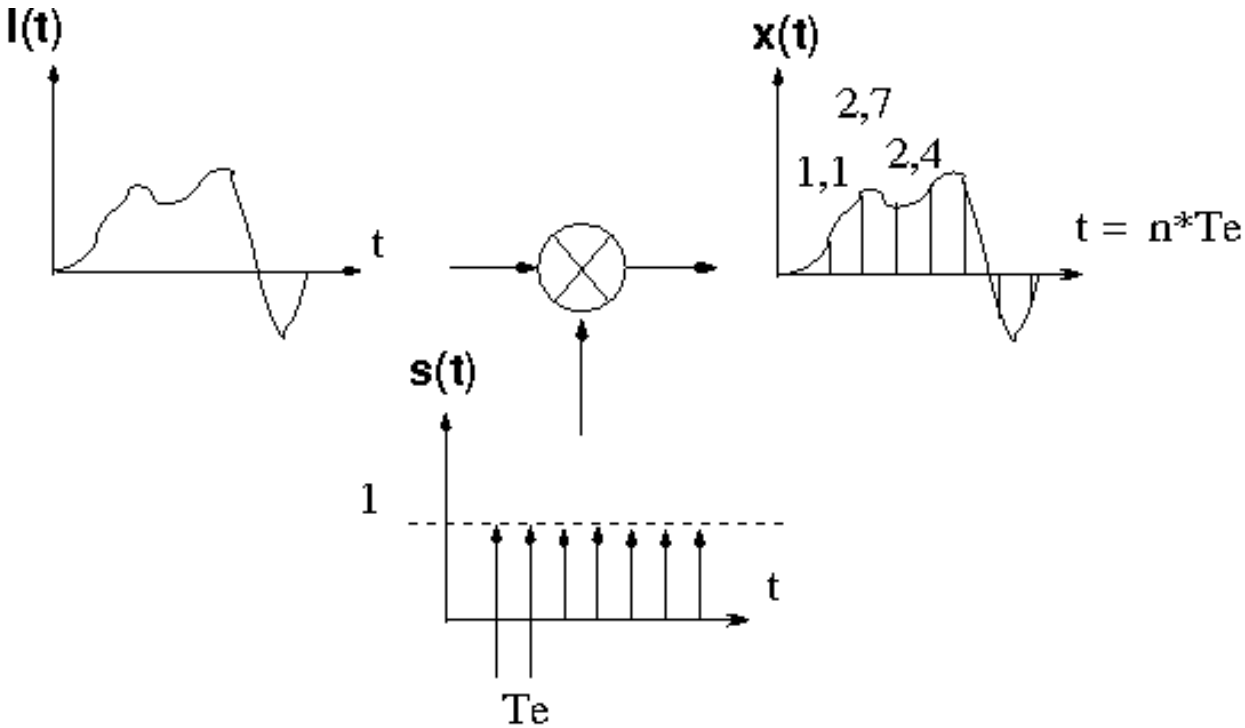
L' **opération d'échantillonnage** correspond à une multiplication entre le signal information I(t) et un signal théorique appelé ≪ peigne de dirac ≫.



➟ C'est la discrétisation en temps !

Période d'échantillonnage

Question ouverte : choix de T_e (période d'échantillonnage) ?



Signal sinusoidal

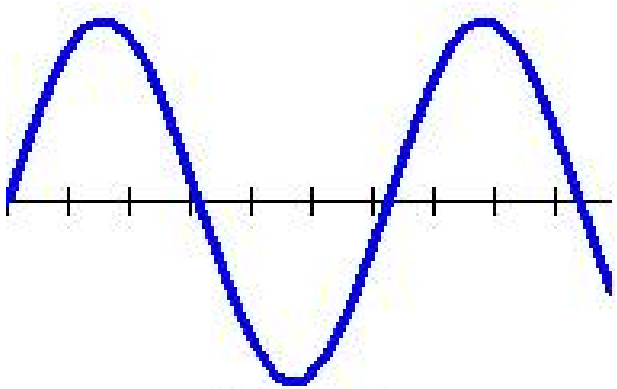
http://fr.wikipedia.org/wiki/Signal_sinusoidal :

Un signal sinusoïdal est un signal (onde) dont l'amplitude, observée à un endroit précis, est une fonction sinusoïdale du temps.

Une **sinusoïde** est la forme que prend cette fonction :

L'amplitude du signal (une de ses caractéristiques) peut correspondre

- à une pression (son),
- à un déplacement (corde qui vibre) ,
- à une quantité d'électrons en déplacement (courant électrique)
- ou encore à une onde électromagnétique.



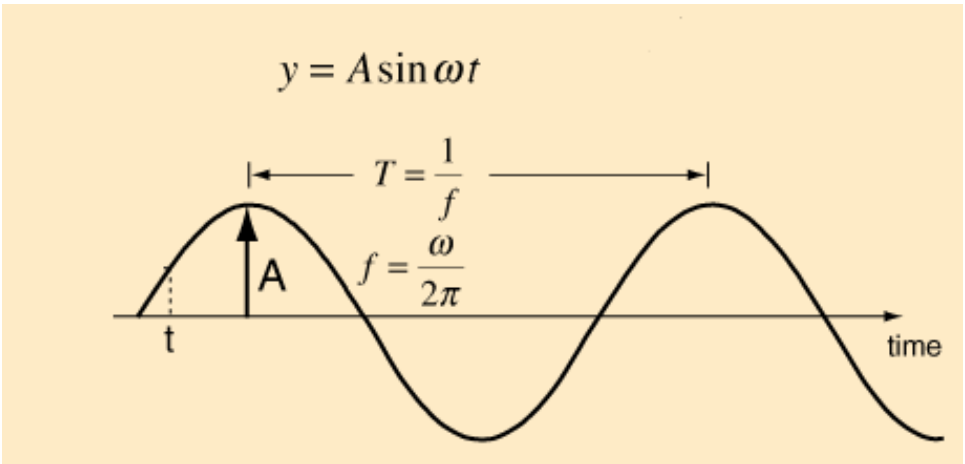
Signal sinusoïdal : Caractéristiques

Caractérisé par son **amplitude** , sa **fréquence** et sa **phase à l'origine** .

Un signal sinusoïdal peut être formalisé ainsi :

$$s(t) = A.sin(\omega t + \phi)$$

avec :

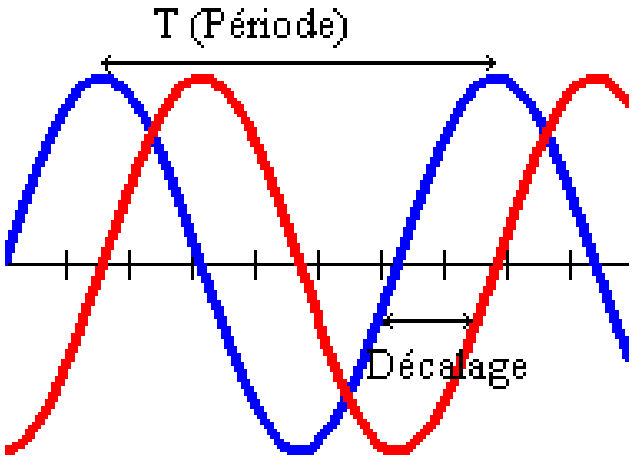


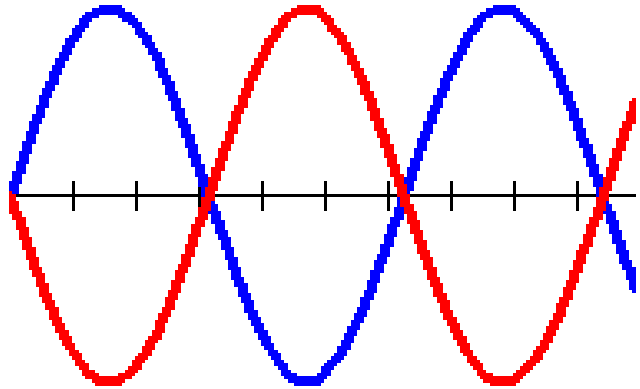
- A : l' **amplitude** , aussi appelée valeur crête.
- ω : la **pulsation** en rad/s
  $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$
- $(\omega t + \phi)$: la phase instantanée en radians.
- ϕ : la **phase** à l'origine.

Signal sinusoïdal : Déphasage

Lorsque l'on compare deux signaux de même fréquence, il est nécessaire d'indiquer de combien de temps ils sont décalés.

➢ On parle alors de **déphasage** .





On dit que les signaux sont « en phase » s'ils sont superposés.

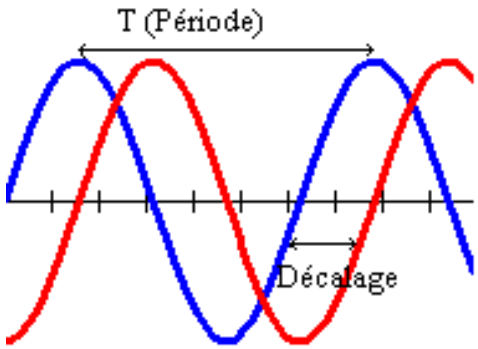
➢ La figure de gauche représente des signaux déphasés de 90˚.

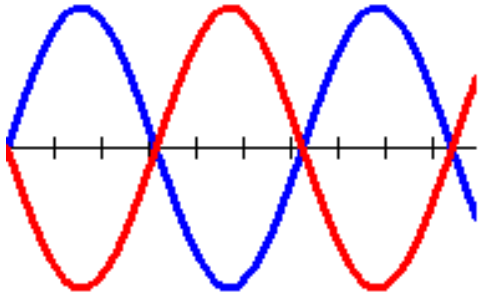
➢ La figure de droite représente des signaux en « opposition de phase » : déphasés de 180˚.

Signal sinusoïdal : Déphasage

Le déphasage ($\Delta\varphi$) se déduit du décalage temporel (τ) séparant les deux signaux.

➢ en degrés : $\Delta\varphi = \frac{360 \cdot \tau}{T}$ et en radians : $\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot \tau}{T}$





✔ 0˚ (ou 0 radian) correspond à 0 seconde de déphasage,

✔ 90˚ (ou $\pi/2$ radians) correspond à T/4 seconde de déphasage,

✔ 180˚ (ou π radians) correspond à T/2 seconde de déphasage,

✔ et 360˚ (ou 2π radians) correspond à des signaux décalés d'une période T (ils sont alors à nouveau en phase).

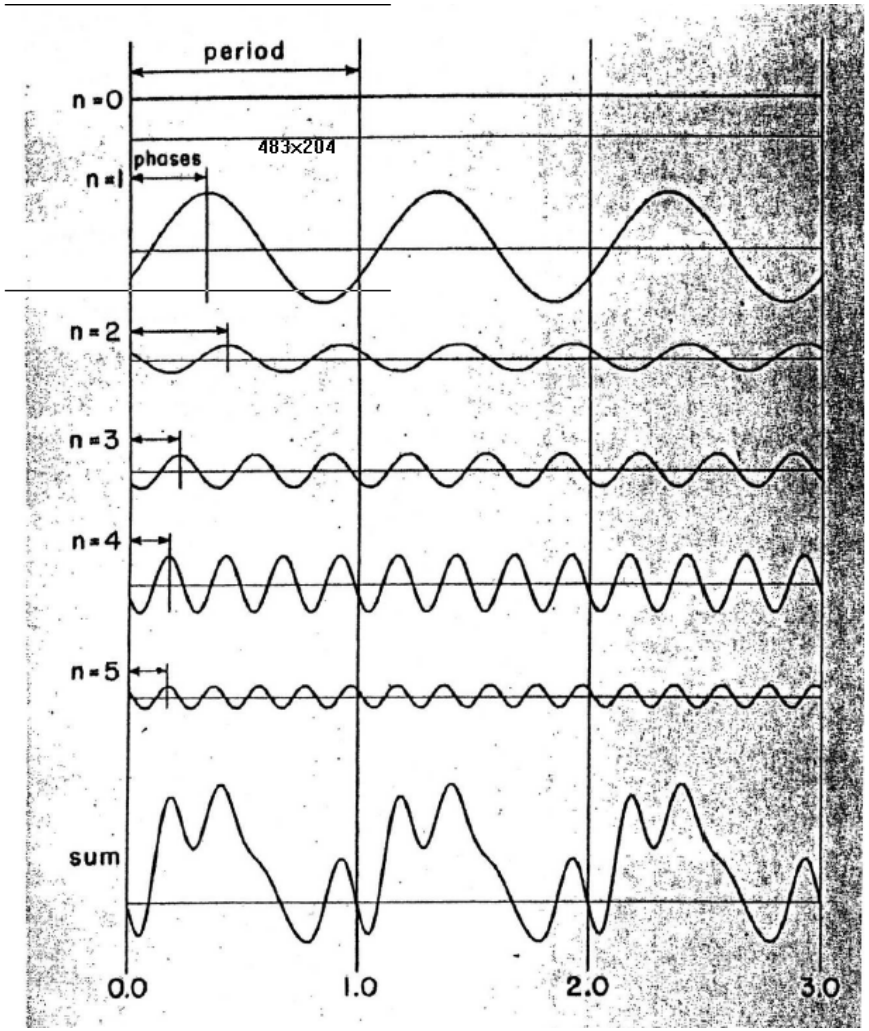
Représentation fréquentielle d'un signal

Introduites par Joseph Fourier (1822),

- Les **séries de Fourier** sont une somme infinie de fonctions sinusoïdales :

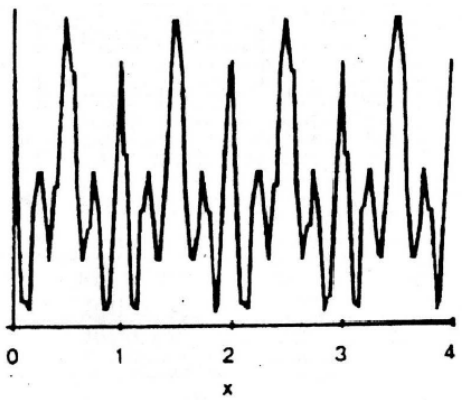
$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n(f) e^{i2\pi \frac{n}{T} t}$$

- Ces fonctions sinusoïdales sont les **harmoniques** du signal.
- Elles permettent d'écrire et de représenter "tout" signal périodique (de période T).



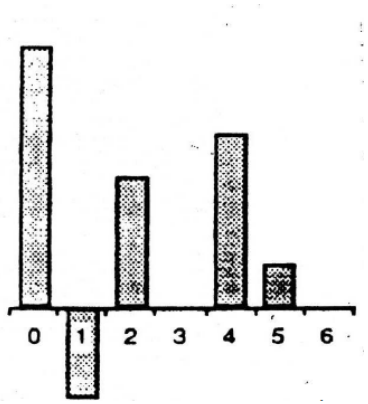
Spectre

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n(f) e^{i2\pi \frac{n}{T} t} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n(f)(cos(2\pi fnt) + i\ sin(2\pi fnt))$$



Les coefficients complexes (C_n) de chaque sinusoïdale sont appelés :

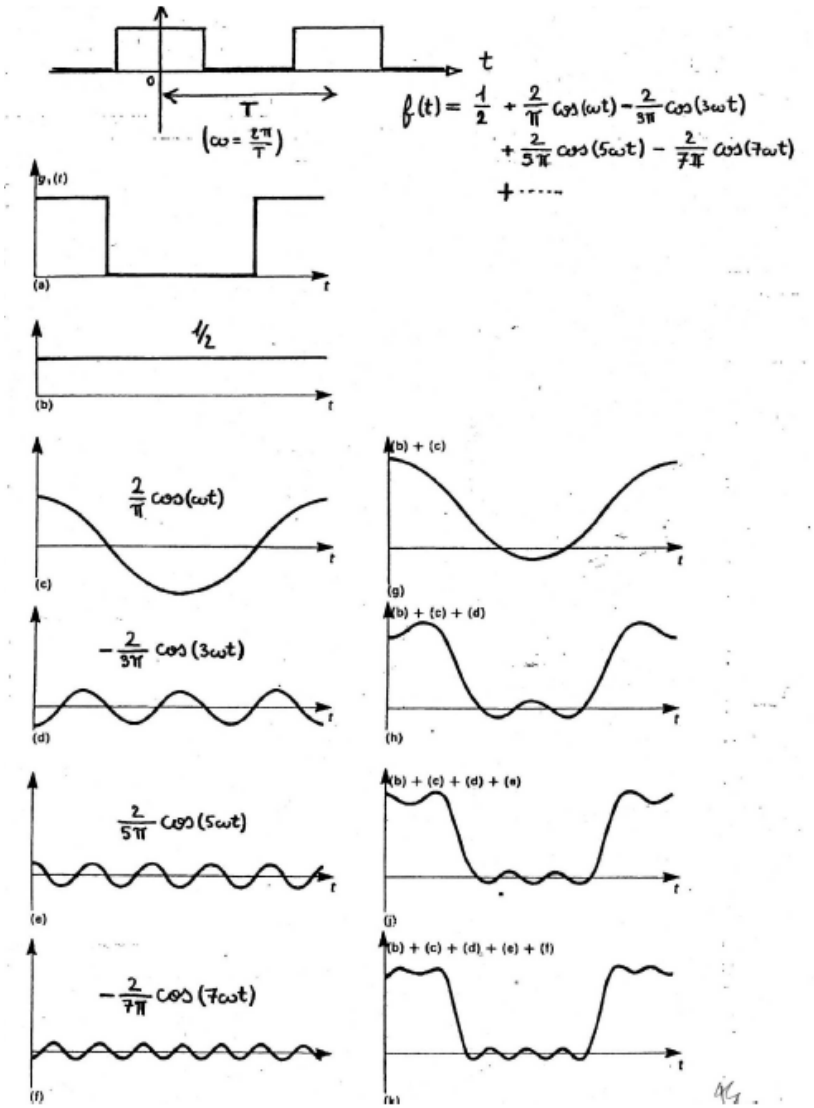
coefficients de Fourier



Un spectre est une représentation numérique et/ou graphique des coefficients de Fourier en fonction des fréquences : $C_0, C_1, C_2, \ldots$

- Lorsque les coefficients de Fourier sont des nombres complexes, on se limite souvent à la représentation de leur module.

Spectre du signal carré



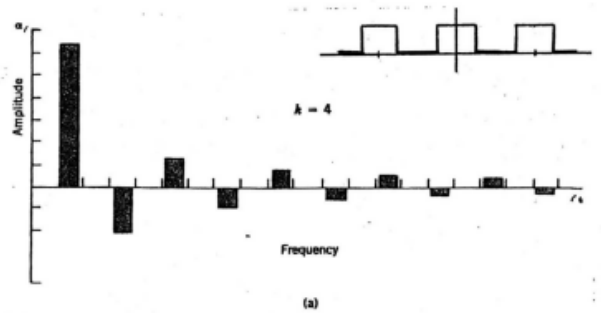


FIGURE 6-3a. The coefficients of the Fourier series of a square wave of width T/2.

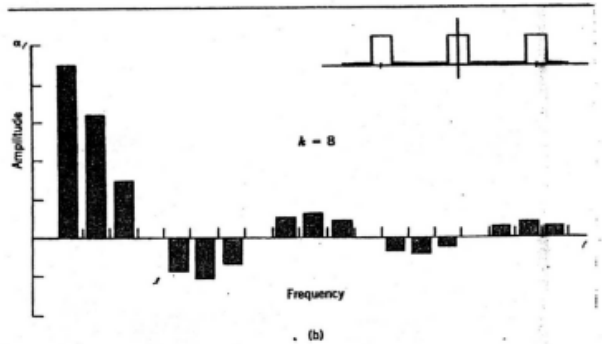
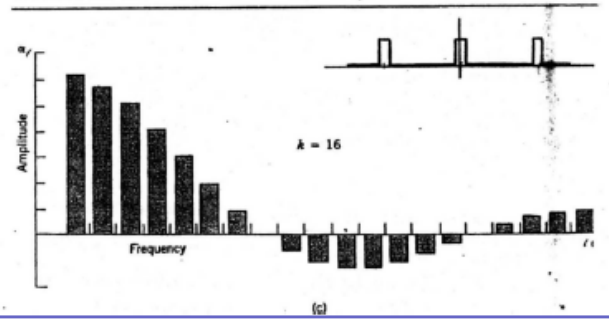
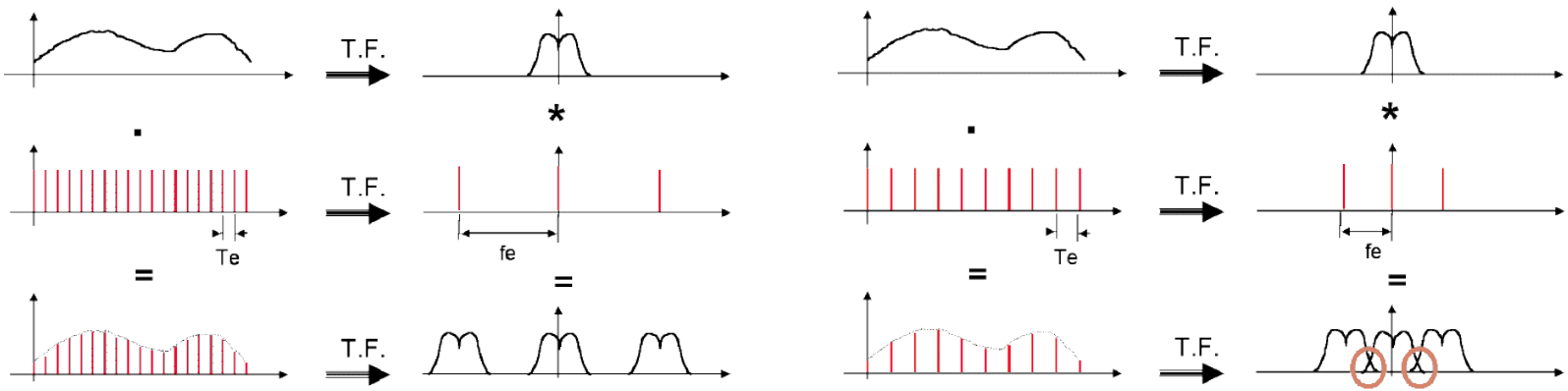


FIGURE 6-3b. Coefficients of the Fourier series of a square wave of width T/4.



Echantillonnage et Shannon

Lorsque l'on numérise un signal et que l'on échantillonne en temps, il y a relation **IMPORTANTE** entre la **fréquence d'échantillonnage** et le **spectre du signal** :



La fréquence d'échantillonnage idéale « Shannon » est égale à deux fois la plus haute fréquence présente (ou choisie) dans le spectre du signal à échantillonner.

$$F_E \geq 2 * F_{Max}$$

Shannon et débit

Pourquoi cette relation est IMPORTANTE ?

Dans l'hypothèse de l'utilisation d'une fréquence d'échantillonnage idéale, les échantillons permettent de reconstruire le signal !

- Si la fréquence utilisée est supérieure, on parle de **sur–échantillonnage** :

  on impose un débit important pour rien ?

- Si la fréquence utilisée est inférieure, on parle de **sous–échantillonnage** :

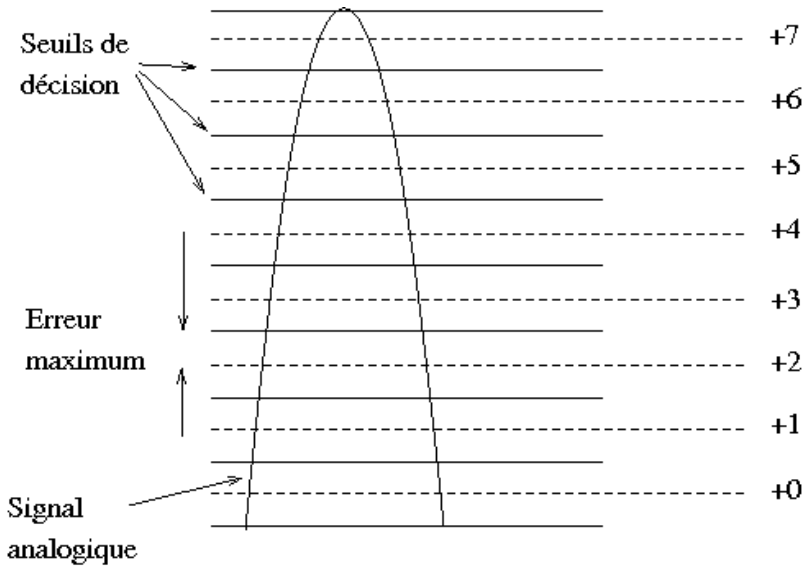
  on ne pourra pas reconstruire correctement le signal !

Quantification

Avant la quantification, les valeurs du signal $\in \mathbb{R}$:

- Lors de la quantification, on projette l'ensemble infini des valeurs potentielles de l'information échantillonnée sur un ensemble de valeurs discrètes (fini dénombrable).

Cet exemple montre un quantificateur linéaire sur 8 niveaux :



La quantification introduit **nécéssairement** une **erreur . . . de quantification** !

Quantification d'une image (128*128 pixels)

Quantificateur 2 niveaux
sur 1 bit = 16384 bits

Quantificateur 8 niveaux
sur 3 bits = 49152 bits

Quantificateur 64 niveaux
sur 6 bits = 98304 bits

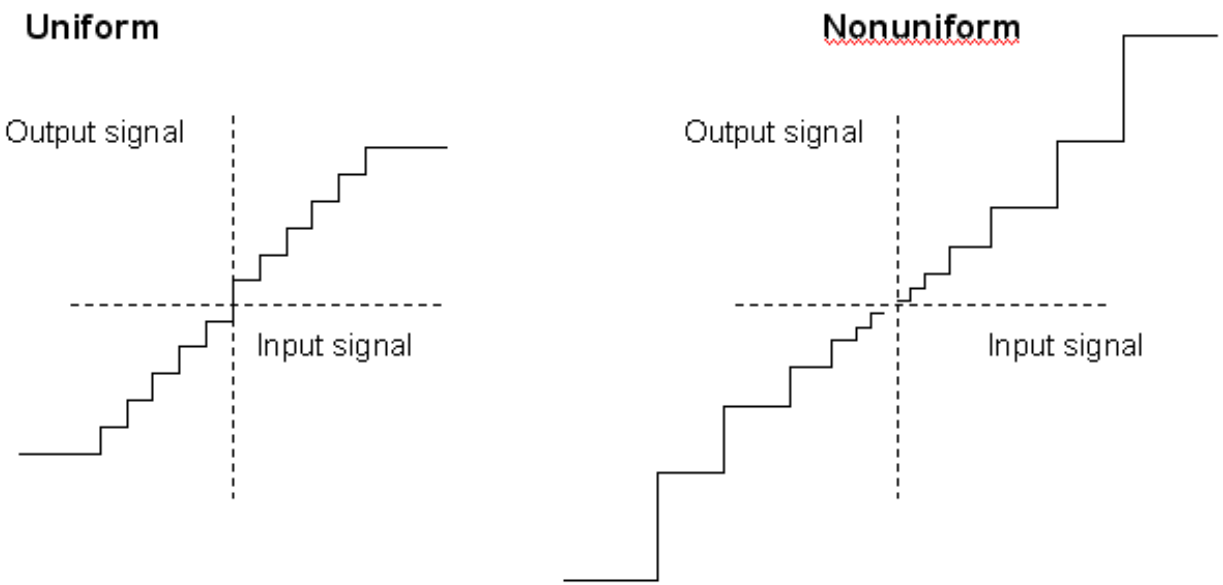
La quantification ≪ compresse ≫ l'information !

➢ Mais c'est une compression **AVEC perte d'information**.

Quantification uniforme / non uniforme

Pour améliorer les choses :

- La résolution est supérieure pour les petites valeurs de signal.



- L'erreur relative est constante.

Bruit

Le bruit est tout ce qui intérfere avec la récupération d'un message.

➢ Le bruit est mesuré en "énergie"

L'énergie d'un signal, $s(t)$, sur l'intervalle $[t1, t2]$:

$$W_s(t1, t2) = \int_{t1}^{t2} |s(t)|^2 dt$$

ou pour un signal discret, $x(n)$ sur l'intervalle $[N1, N2]$:

$$W_s(N1, N2) = \sum_{n=N1}^{N2} |s(n)|^2$$

Le bruit est, par définition, imprévisible : Il est aléatoire !

➢ Comme toute fonction aléatoire, le bruit est caractérisé par une densité de probabilité.

La quantification crée un **bruit de quantification** relativement au signal original.

Rapport Signal/Bruit

La qualité d'une opération sur un signal est souvent représentée par le **rapport signal/bruit** (**SNR** en anglais).

① Pour $x(t) = s(t) + n(t)$, le rapport signal sur bruit est défini par :

$$SNR_x = Ws/Wn$$

où $\begin{cases} \text{Ws est l'énergie du signal } s(t) \\ \text{et Wn est l'énergie du bruit } n(t) \end{cases}$

② Le SNR est souvent représenté avec une échelle logarithmique (ce qui "compresse" la représentation de la dynamique) appelée **décibel** et noté *dB* :

$$SNR_x = 10\ log_{10} x \qquad en\ dB$$

✔ Un accroissement de 3 dB du SNR est équivalent à une multiplication par 2 de x . . . ce qui plutôt l'objectif . . .

On s'en doute :

- ➢ "plus on dispose de bits pour quantifier,
- ➢ plus le bruit sera petit,
- ➢ et donc plus le rapport S/B sera grand".

Pour obtenir, une quantification du gain ainsi obtenue, il faut non pas considérer un signal particulier (la portée du résultat serait trop faible), mais une classe de signaux caractérisés par leur caractéristiques probabilistes : moyenne, écart type, loi de densité, ...

Dans ces conditions, soit un signal x(nTe) de moyenne zéro et d'écart type σ_x et un quantificateur uniforme :

- ➢ Si le bruit de quantification suit une loi uniforme,
- ➢ Si la plage utile V du signal est décomposée en $\frac{V}{q} = 2^B$ intervalles de largeur q,

alors le rapport signal/bruit de x(n) :

$$SNR(x,q) = 6 * B + 10.8 - 20 * log_{10} \frac{V}{\sigma_x} \qquad en\ dB$$

SNR d'un quantificateur uniforme

Vous pouvez trouver la démonstration là :

`http://www-prima.imag.fr/jlc/Courses/2001/ENSI2.TS/ENSI2.TS.S5.pdf`

$$SNR(x,q) = 6 * B + 10.8 - 20 * log_{10}\frac{V}{\sigma_x} \qquad en\ dB$$

Ainsi, pour un CAN, où B représente le nombre de bits des valeurs de sortie,

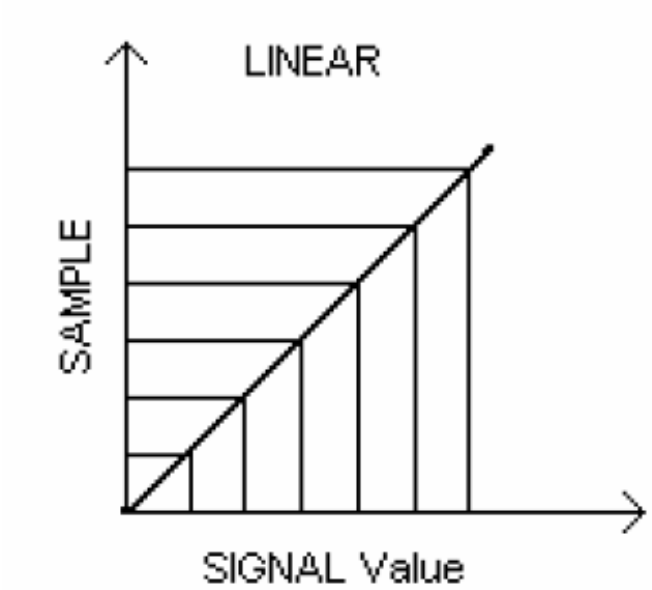
1. le rapport signal sur bruit (en dB) d'une quantification **varie linéairement avec B** en décibel.
2. et plus précisément **augmente de 6 dB avec chaque bit supplémentaire** :
   - ce qui est une bonne chose car on aimerait qu'il soit le plus grand possible !

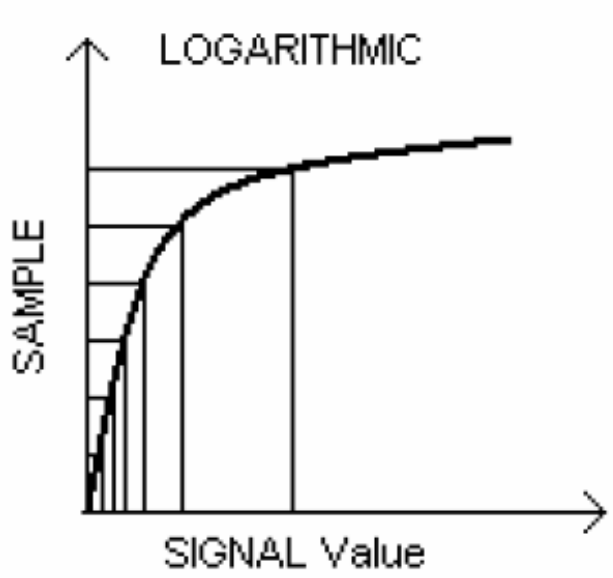
Quantification uniforme / non uniforme

Les quantificateurs uniformes ne sont pas optimaux au sens du rapport $\frac{signal}{bruit}$.

On préfère utiliser des quantificateurs **non uniformes**. en puissance (non logarithmique).

➢ Logarithmique par exemple.

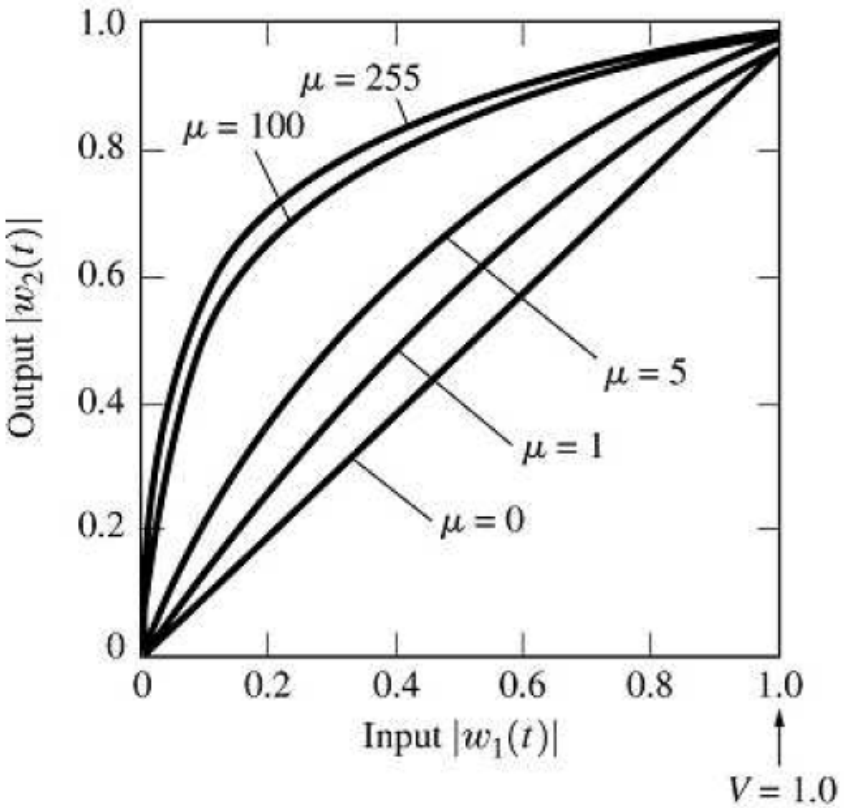


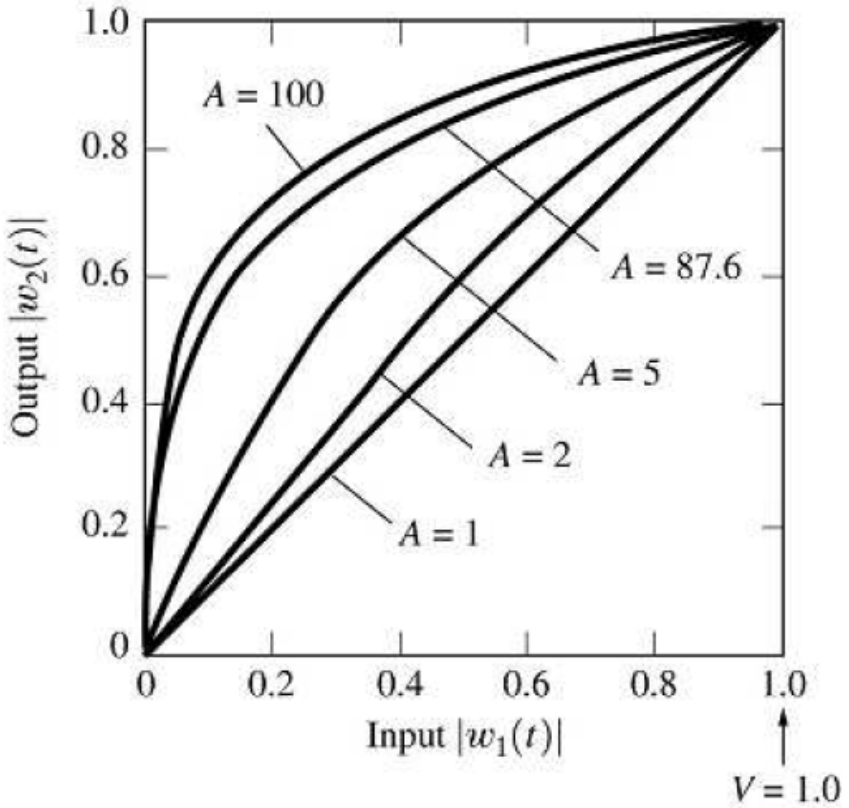


Pulse Code Modulation (PCM) : Quantification

Les quantificateurs non uniformes sont désignés par la loi de quantification qu'ils mettent en œuvre :

Loi μ , pour les USA et Loi A , pour l'Europe.



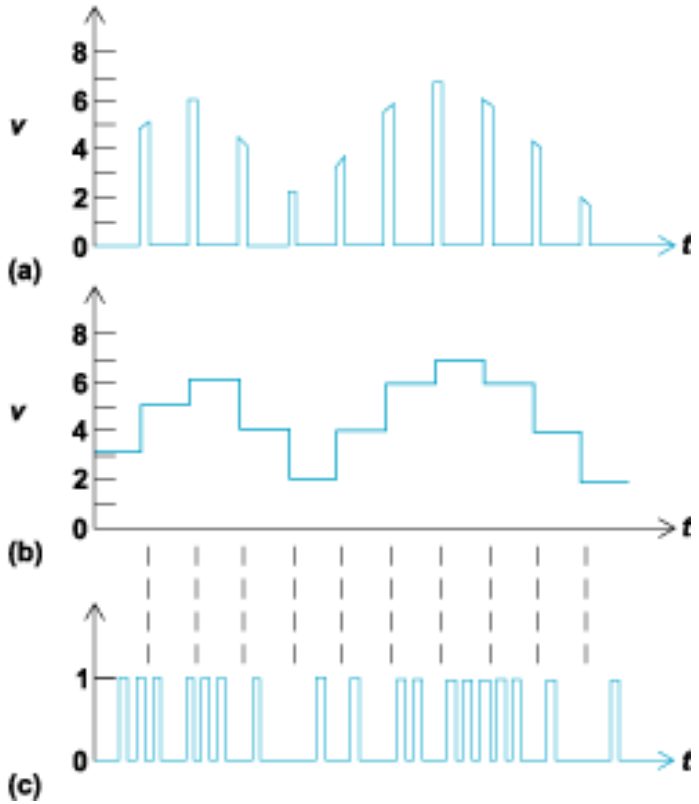


Pulse Code Modulation (PCM) : Encodage

L'encodage est la phase de désignation binaire des échantillons :

- Ainsi, si l'on dispose de 4 bits, on peut coder $2^4 = 16$ niveaux différents.
- On peut choisir une représentation de type « signe–magnitude ».

−7 –>	0111	+7 –>	1111
−6 –>	0110	+6 –>	1110
−5 –>	0101	+5 –>	1101
−4 –>	0100	+4 –>	1100
−3 –>	0011	+3 –>	1011
−2 –>	0010	+2 –>	1010
−1 –>	0001	+1 –>	1001
		+0 –>	1000

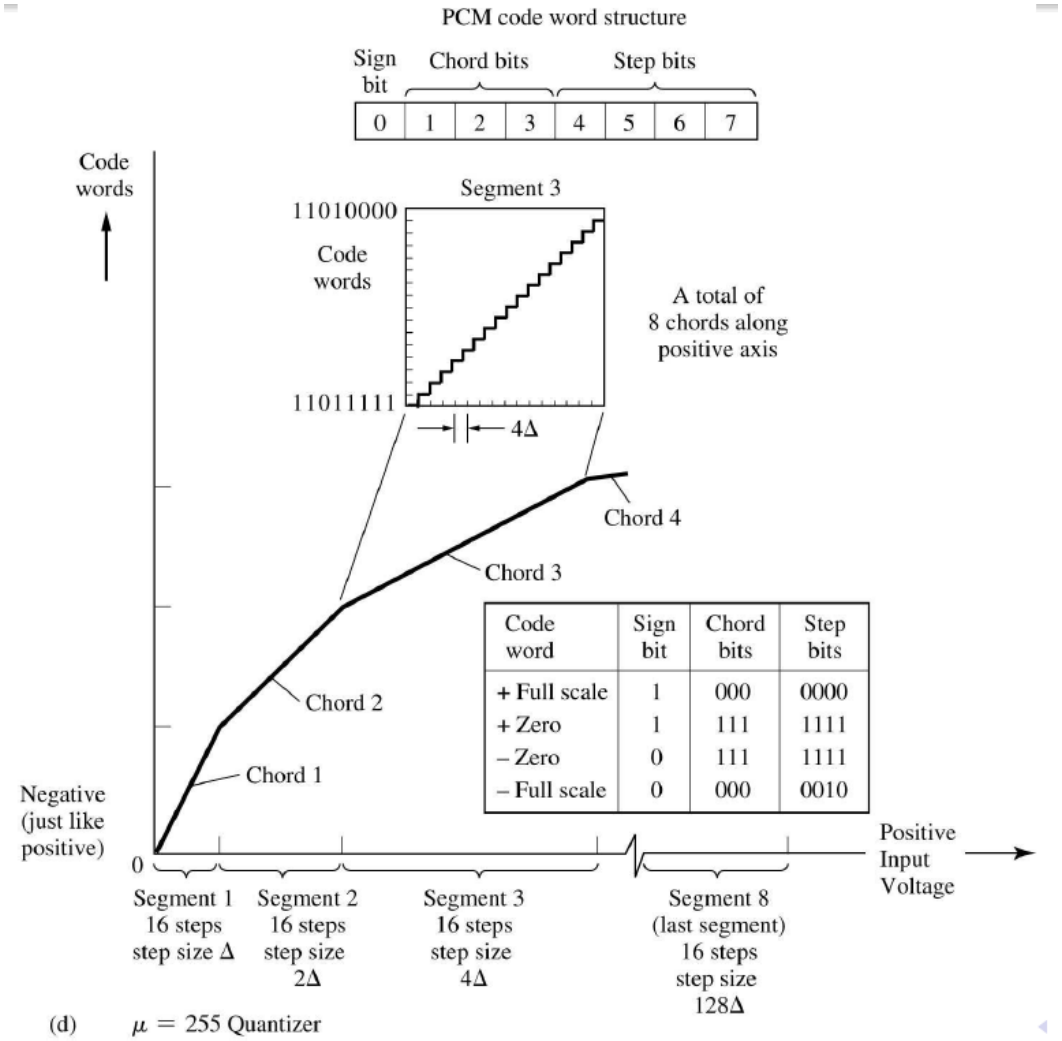


Pulse Code Modulation (PCM) : En vrai !

http://services.sea.lau.edu.lb/academia/courses/ele537/

http://en.wikipedia.org/wiki/G.711

C'est assez compliqué . . .


PCM code word structure
Sign bit
Chord bits
Step bits
0 1 2 3 4 5 6 7
Code words
Segment 3
11010000
Code words
11011111
4Δ
A total of 8 chords along positive axis
Chord 4
Chord 3
Chord 2
Chord 1
Code word | Sign bit | Chord bits | Step bits
+ Full scale | 1 | 000 | 0000
+ Zero | 1 | 111 | 1111
– Zero | 0 | 111 | 1111
– Full scale | 0 | 000 | 0010
Negative (just like positive)
0
Positive Input Voltage
Segment 1 16 steps step size Δ
Segment 2 16 steps step size 2Δ
Segment 3 16 steps step size 4Δ
Segment 8 (last segment) 16 steps step size 128Δ
(d) μ = 255 Quantizer

Le téléphone.

- LE réseau physique !

La téléphone

30 ans aprés le télégraphe et l'expérience de Morse, le `téléphone` (Antonio Meucci/Graham Bell 1876) supplante le télégraphe.

C'est **plus simple à utiliser** et **plus simple à réaliser** !

Le premier téléphone de Bell est réversible :

- ✔ il sert alternativement de transmetteur et d'écouteur.

Néanmoins, pour améliorer la sensibilité et donc la distance séparant deux correspondants, les fonctions microphone et écouteur furent rapidement dissociées :

Depuis son invention en 1876 jusqu'aux années 1970, il y a eu très peu d'évolutions sur les constituants :

① On insère une **"bobine d'induction"** pour **amplifier** le signal microphonique.

② On ajoute un **dispositif de signalisation** constitué :

➢ d'une magnéto

Ce générateur de courant alternatif produit une tension électrique destinée à faire chuter le volet annonciateur du central.

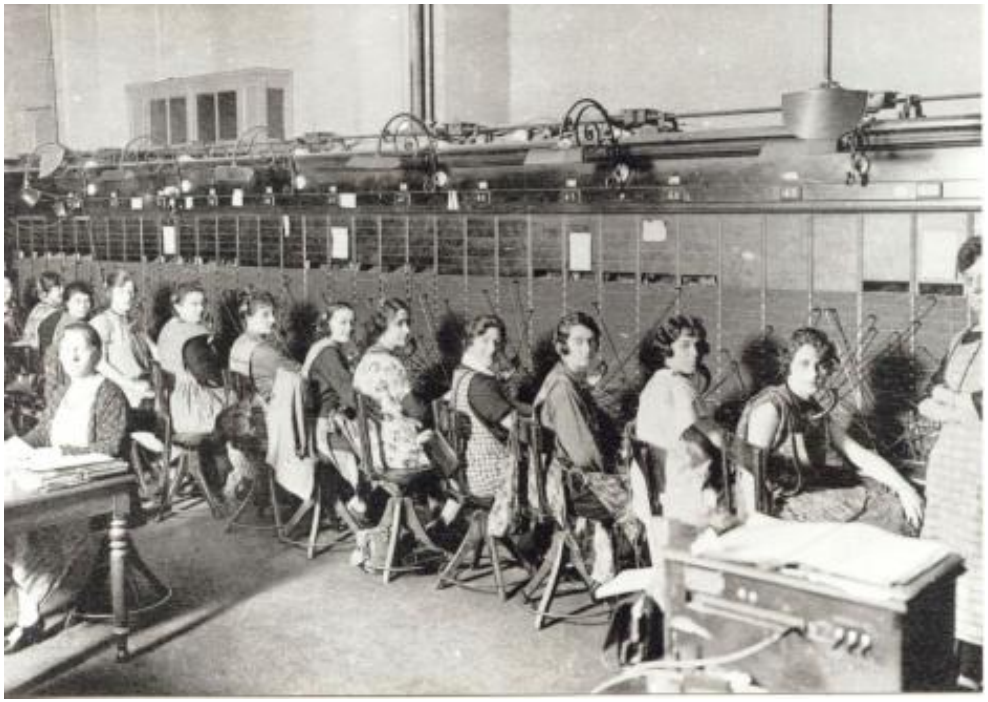
✔ L'avantage par rapport au bouton d'appel est la suppression d'une des piles présentes chez l'abonné (entretien coûteux).

➢ et d'une sonnerie.

Plus tard . . . le cadran . . . !

Mode d'emploi

L'utilisation du téléphone dans un contexte "multi-utilisateurs" suppose de le connecter à un réseau :



À ses débuts, le **réseau téléphonique** est entièrement manuel :

- ✔ Pas besoin de cadran !

Procédure de connexion

L'appel d'un correspondant est effectué par la **procédure** suivante :

① L'abonné décroche le combiné de son téléphone

② Cette action provoque la chute d'un volet annonciateur au central parfois l'allumage d'un voyant,

③ Une opératrice répond à l'abonné, note le numéro du correspondant à appeler :

- ➢ si le correspondant dépend du même central, la connexion avec l'abonné se fera en « local »
- ➢ sinon, l'opératrice appelle une autre opératrice chargée du central de rattachement de la personne appelée

④ lorsque l'appelé est joint, les opératrices mettent en relation (connexion) les deux abonnés :

« parlez ! »

Ce schéma est devenu classique dans les réseaux . . . à suivre !

Le téléphone ”automatique”

Le cadran, imposé par l’”automatique” (1891 Almon Strowger / conflit commercial), fait son apparition en France en 1912 à Nice.

- ✔ Le premier réseau automatique public français est installé en 1925.

Les éléments sont alors les suivants :

- ➟ Les **organes de conversation** : microphone, écouteur, bobine d’induction.
- ➟ Les **organes** d’appel (ou de **signalisation**) : magnéto ou cadran, condensateur et sonnerie, bouton.

On retrouve cette configuration jusqu’au modèle le plus commun en France, le ”S63”.

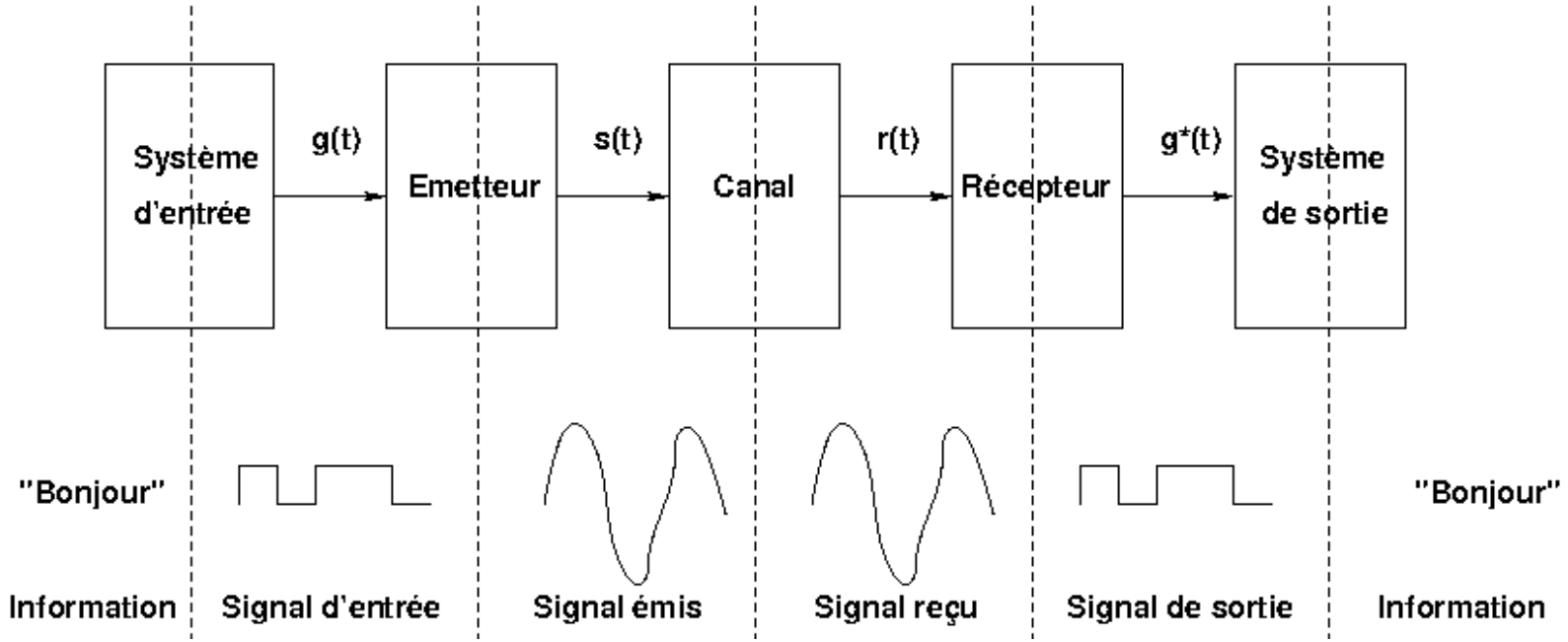
La phase de téléphonie : Bilan !

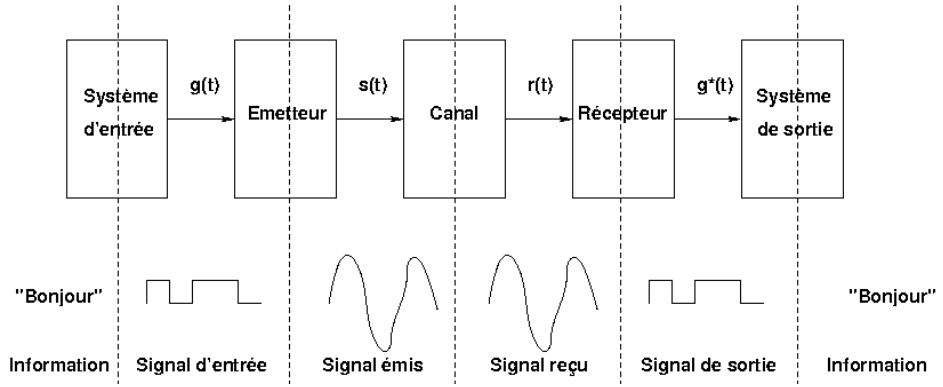
Pendant plus d’un siècle,

l’analogique relégue le numérique au second plan !

Modèle d'une liaison de télécommunication

Une liaison de télécommunications comporte cinq éléments principaux :





① un **système d'entrée** : qui prend l'information et la convertit en signal électrique, optique ou radioélectrique.

Exemple : téléphone (pression acoustique/électricité).

② un **émetteur** : qui "adapte" ce signal pour le canal de transmission.

"adapter" : par exemple changer la nature numérique/analogique du signal (cas des modems).

③ un **canal de transmission** dont le rôle est d'acheminer l'information de l'émetteur au récepteur.

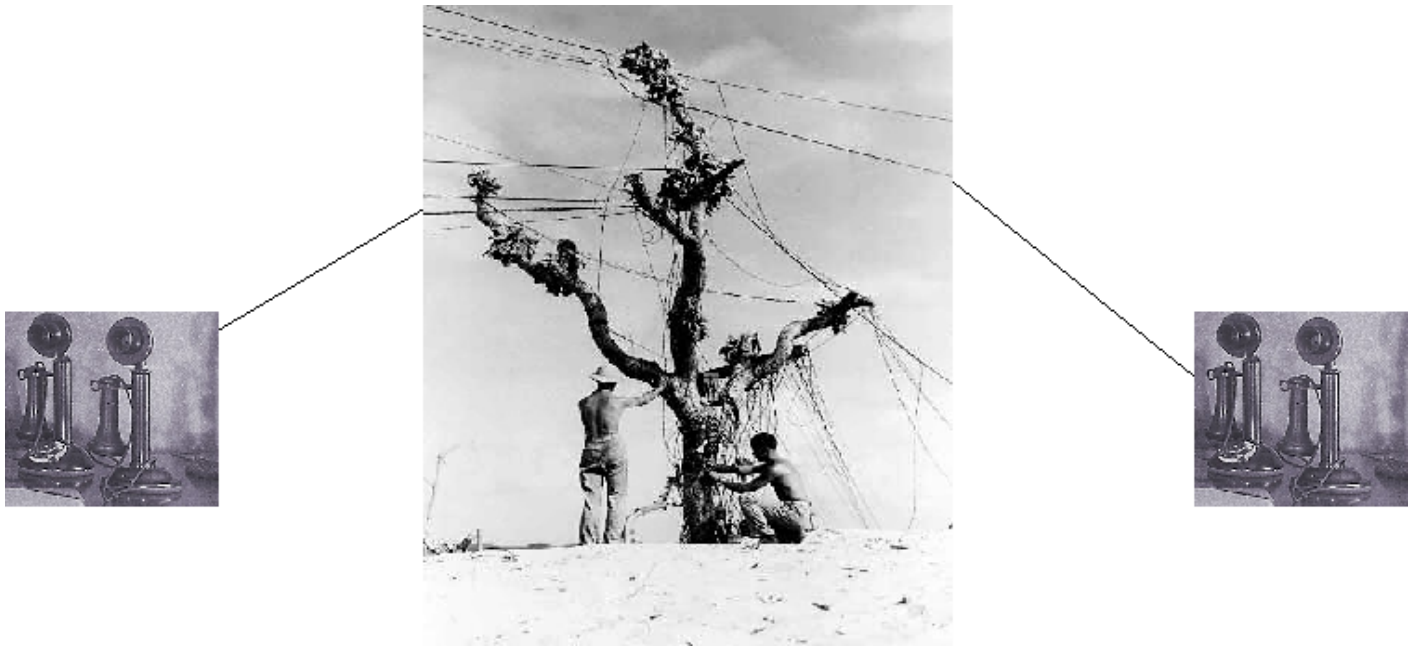
- ➢ Ce canal peut prendre la forme (la plus simple) d'un medium de transmission (par exemple une paire de fils, une fibre optique ou l'espace radioélectrique)

④ un **récepteur** qui reçoit le signal et le transforme pour être soumis au système de sortie.

⑤ le **système de sortie** : par exemple un haut parleur qui transforme le signal électrique en pression acoustique.

Modèle d'un système de communication : exemples

① En téléphonie (analogique . . . avant 1970) :



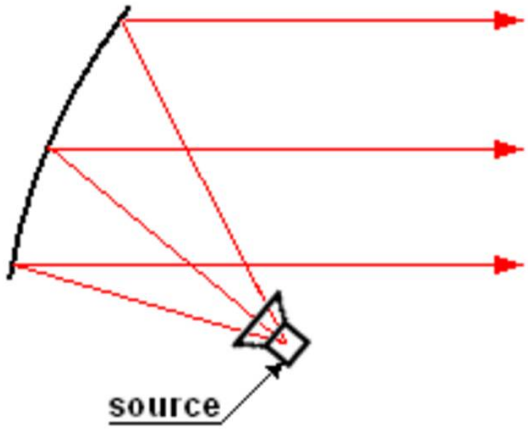
✔ Emetteur : combiné téléphonique

✔ Canal : deux fils à travers un réseau . . .

✔ Récepteur : combiné téléphonique

Modèle d'un système de communication : exemples

② En radiodiffusion,



- ✔ Système d'entrée : Microphone
- ✔ Emetteur : Antenne + Modulation
- ✔ Canal : espace hertzien
- ✔ Récepteur : Antenne + DéModulation (poste radio par exemple)
- ✔ Système de sortie : Haut Parleur

Notion de canal

Le canal de transmission est en charge de l'acheminement du signal.

- ✔ Le terme "canal" marque qu'il faudra **"faire avec"** ses caractéristiques !

Or, le canal ≪ parfait ≫ (ne contraignant pas la transmission), n'existe pas !

- ➟ Il impose une restriction sur le nombre d'harmoniques transmissibles.

L'intervalle des fréquences (des harmoniques) admissibles forme la **bande passante** du canal.

Exemples et conséquences sur les débits

① La parole ≪ téléphonique ≫ : La bande passante d'un canal téléphonique est $300Hz - 3400Hz$

- Si l'on échantillonne à deux fois la plus grande fréquence on obtient $f_e = 2 * 3400Hz = 6800Hz$.
  Il est standard de considérer une fréquence d'échantillonnage : 8kHz.
- Le débit d'un signal de parole sur une ligne numérique sera :

  64Kbps (8000 échantillons par seconde $*$ 8 bits par échantillon).

② La haute fidélité ≪ CD ≫ : La bande passante d'un canal de haute fidélité est d'environ $20kHz$.

- Si l'on échantillonne à deux fois la plus grande fréquence on obtient $f_e = 40kHz$.
  Il est standard de considérer une fréquence d'échantillonnage : 44.1kHz.
- Par conséquent, pour transmettre un tel signal sur une ligne numérique le débit sera :

  $0.7Mbps$ (16 bits par échantillon).

③ La TV numérique : La bande passante d'un canal de TV est d'environ $5MHz$.

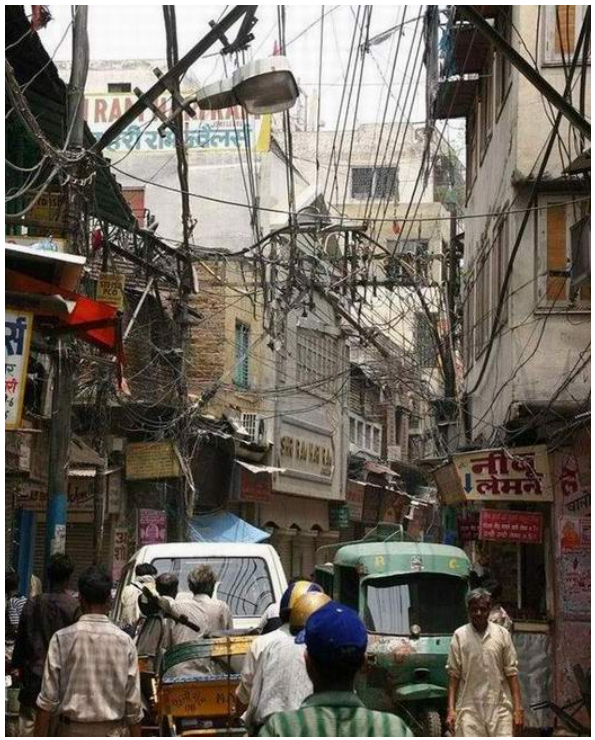
- Il est standard de considérer une fréquence d'échantillonnage : 10Mhz.
- Par conséquent, pour transmettre un tel signal sur une ligne numérique le débit sera :

  $80Mbps$ (8 bits par échantillon).

Notion de réseau

Quand plusieurs liaisons sont interconnectées entre plusieurs utilisateurs, on obtient un réseau, comme par exemple le `réseau internet`.

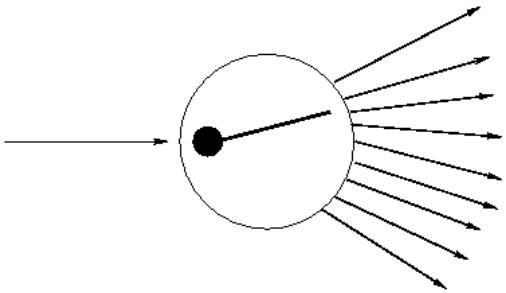
➢ Le succés du téléphone nécessite trés vite de développer un **réseau téléphonique** . . . mais de quel type ? !



Le premier commutateur

En 1878 à New Haven, le premier `commutateur` (switch) est manuel.

- La(Les) ligne(s) téléphonique(s) converge(nt) vers un « central »

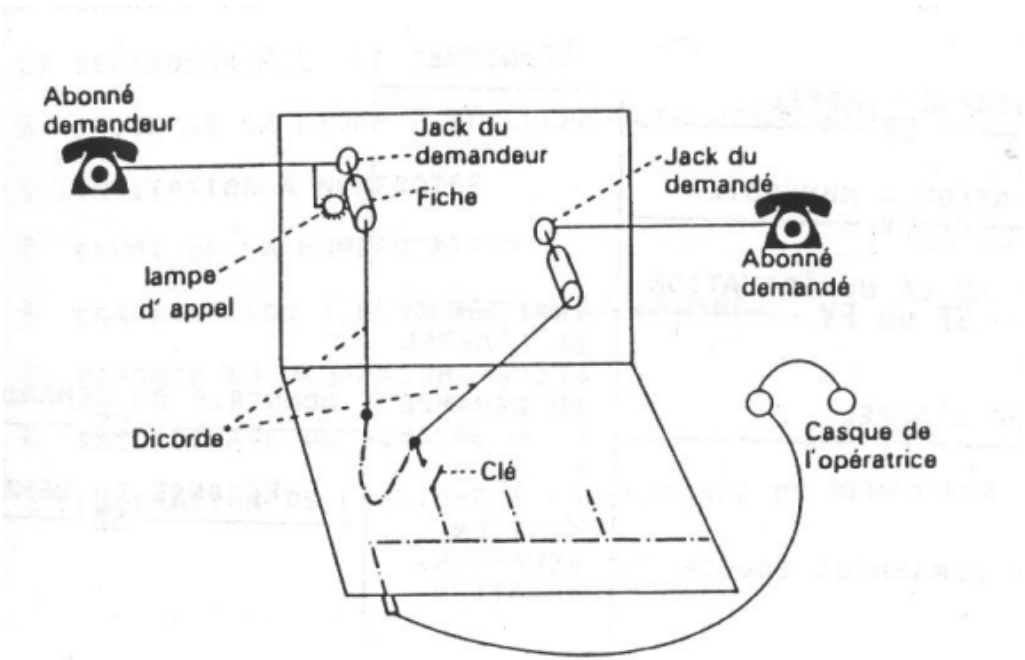


- où une opératrice crée la connexion « téléphone–à–téléphone » sur un tableau (standard).

Le commutateur comporte 21 directions !

La commutation

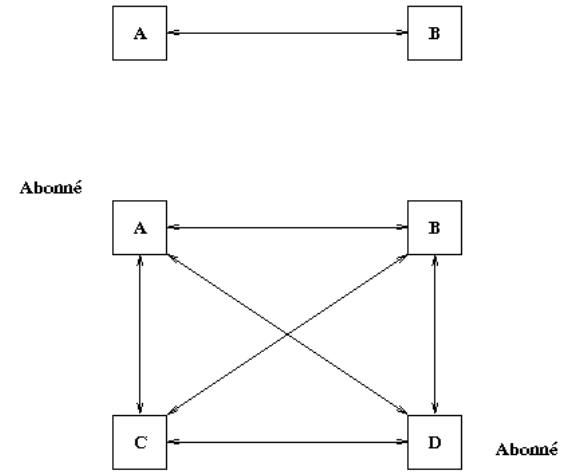
- La naissance des réseaux . . .

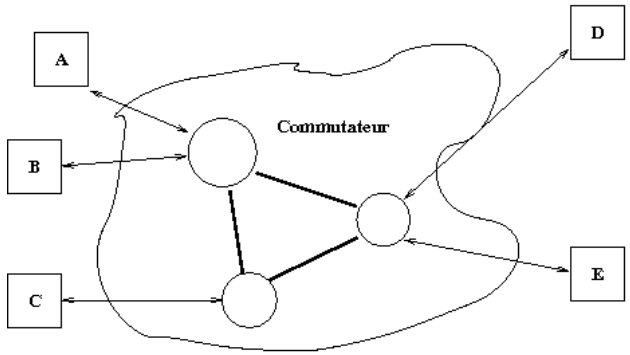


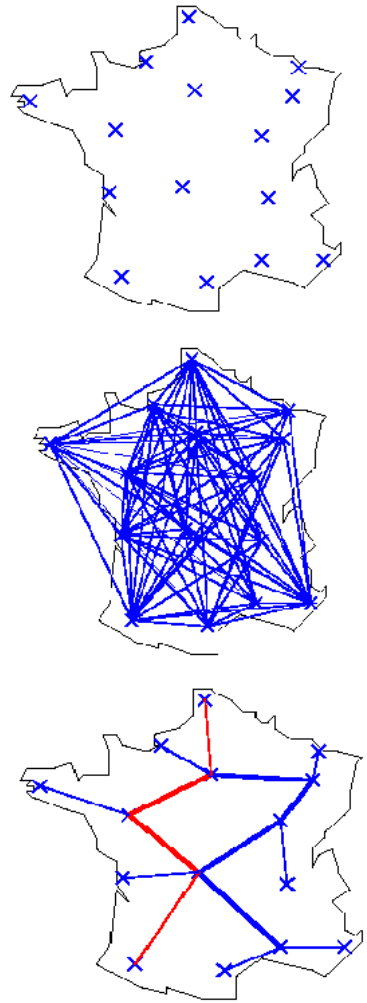
Maille ou Liaison commutée

Le problème de la commutation est celui de la mise en communication de deux abonnés distants :

➠ Il n'est pas possible de relier physiquement « tout le monde à tout le monde ».







Liaison point-à-point

La première solution consiste à développer des liaisons ≪ point à point ≫ entre abonnés :

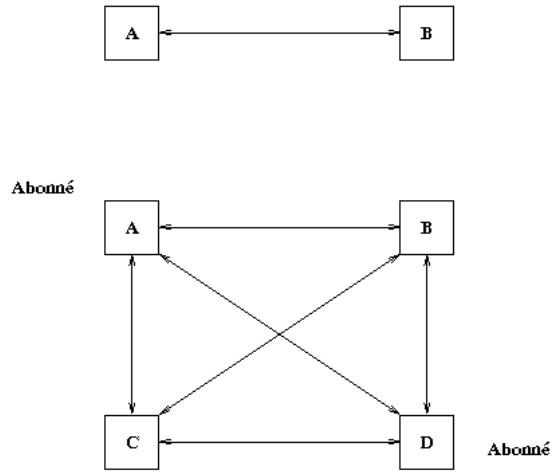
- cela signifie qu'aucune station n'est employée comme relais de communication,
- on aboutit donc à une **maille** .

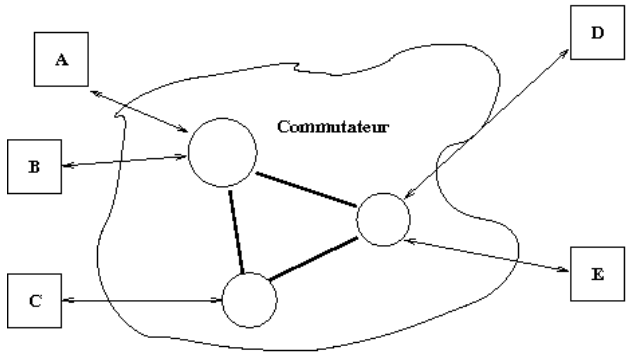
Le nombre de liens nécessaires pour N abonnés est :

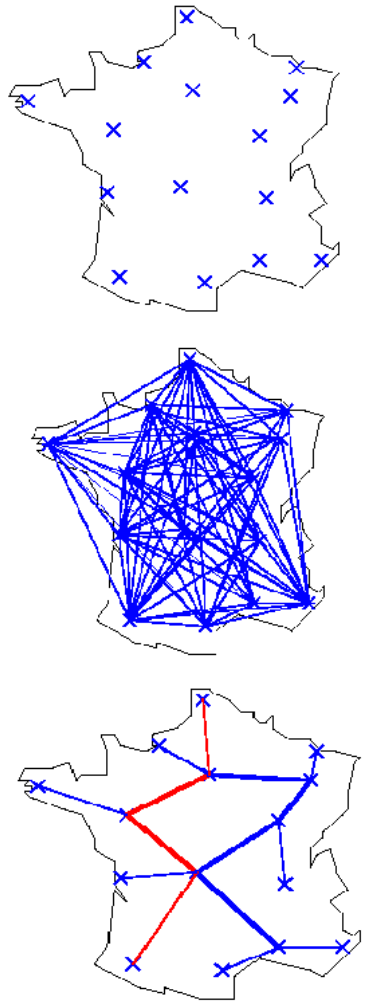
$$L = \frac{(N^2 - N)}{2} = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1)$$

Il est clair que cette approche (en N^2) est irréaliste à grande échelle :

- Celle du téléphone par exemple.







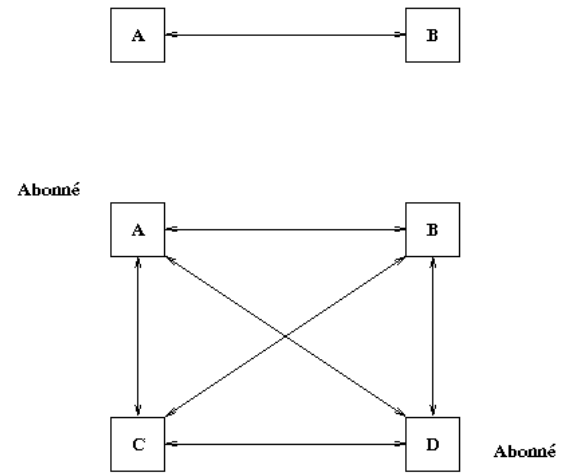
Liaison commutée

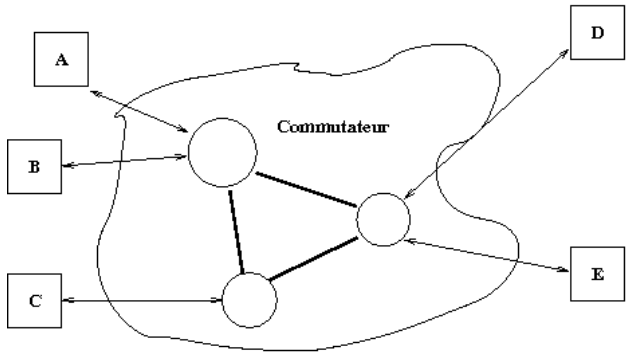
Dans la deuxième solution, on va utiliser des **liaisons commutées** :

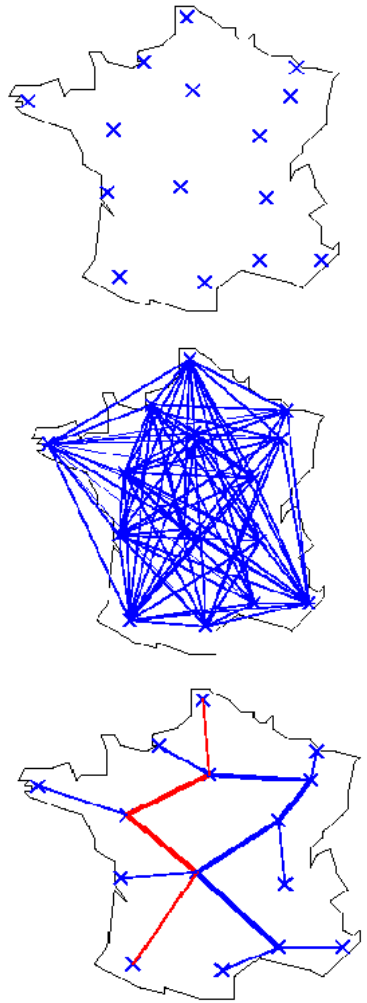
- ➢ On place des opératrices, des machines relais, . . . qui permettent d'établir **dynamiquement** une communication.
- ➢ Cette liaison est dite commutée, car elle n'est pas ≪ fixée ≫ de manière définitive, ce qui permet à l'un des utilisateur du réseau de choisir et de changer d'interlocuteur.

Par rapport à la maille, on est un peu plus que linéaire en N (en terme de liaison).

- ➢ C'est le modèle du **Réseau Téléphonique Commuté (RTC)** .

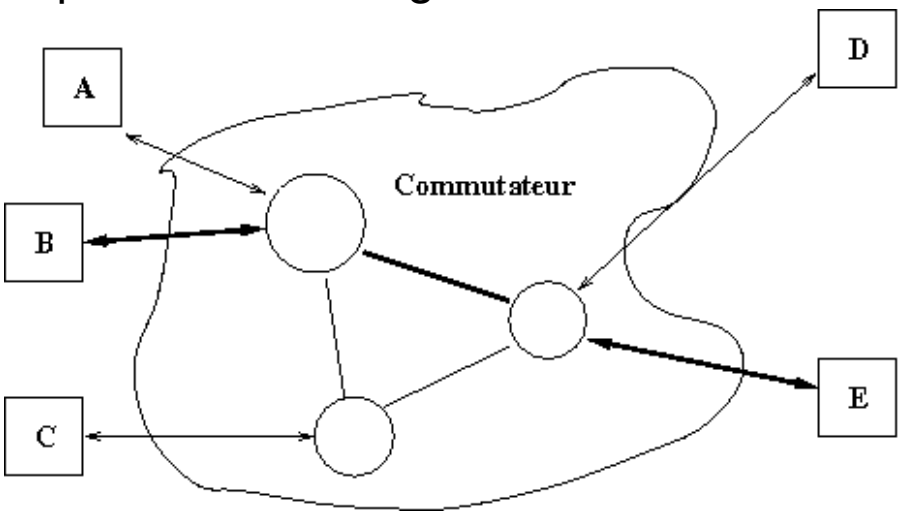






Commutation spatiale

La première forme historique de commutation utilisée est dite **commutation spatiale** puiqu'elle permet de changer dynamiquement la ≪ destination spatiale ≫ de la ligne :



➢ Bien sûr, la liaison est **transparente** car elle ne fait pas apparaitre la structure (de commutation) aux abonnés.

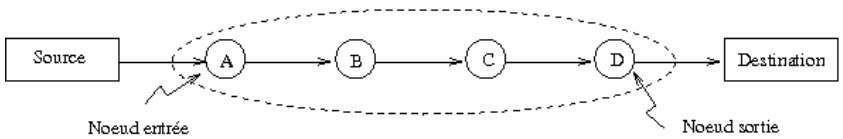
Elle met en oeuvre (≪ hérite de ≫) une **commutation de circuit** .

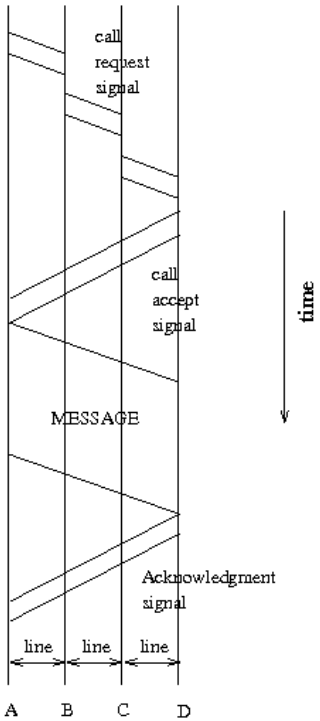
➢ Elle implémente cette commutation de circuit ≪ à l'aide de supports matériels distincts ≫.

`http://www.culture.gouv.fr/culture/dglf`

Commutation de circuit

Le réseau fournit **l'équivalent d'un support de transmission point à point entre les équipements terminaux des abonnés.**





Pour réaliser cela, tout dialogue se décompose en 3 phases :

① **un chemin physique (électrique) ou circuit** entre le noeud émetteur et le noeud récepteur est déterminé préalablement à la transmission des données.

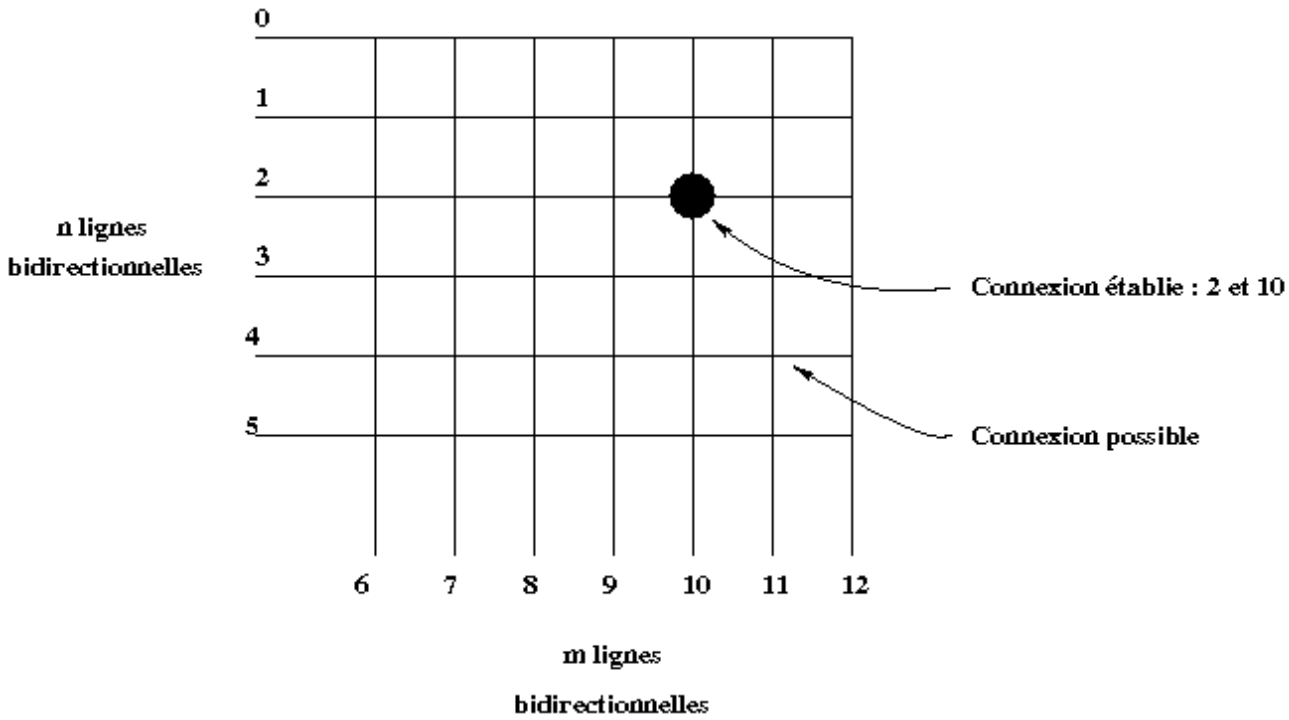
② La connexion une fois établie, ces deux noeuds utilisent **exclusivement et continuellement ce circuit** et ce pendant **toute la durée** de la communication.

③ A la fin de l'échange, le circuit est interrompu, **libérant** ainsi les liaisons physiques entre les noeuds.

Commutateur Crossbar

La mise en oeuvre la plus simple est celle du commutateur « crossbar ».

- Il s'agit d'une matrice commutation à n*m intersections appelées points de connexion.



Commutateur Crossbar

Deux lignes peuvent être reliées grâce à un interrupteur.

- Au départ, cet interrupteur était activé manuellement.
- L'apparition des transistors permet d'automatiser en quelques microsecondes la connexion.

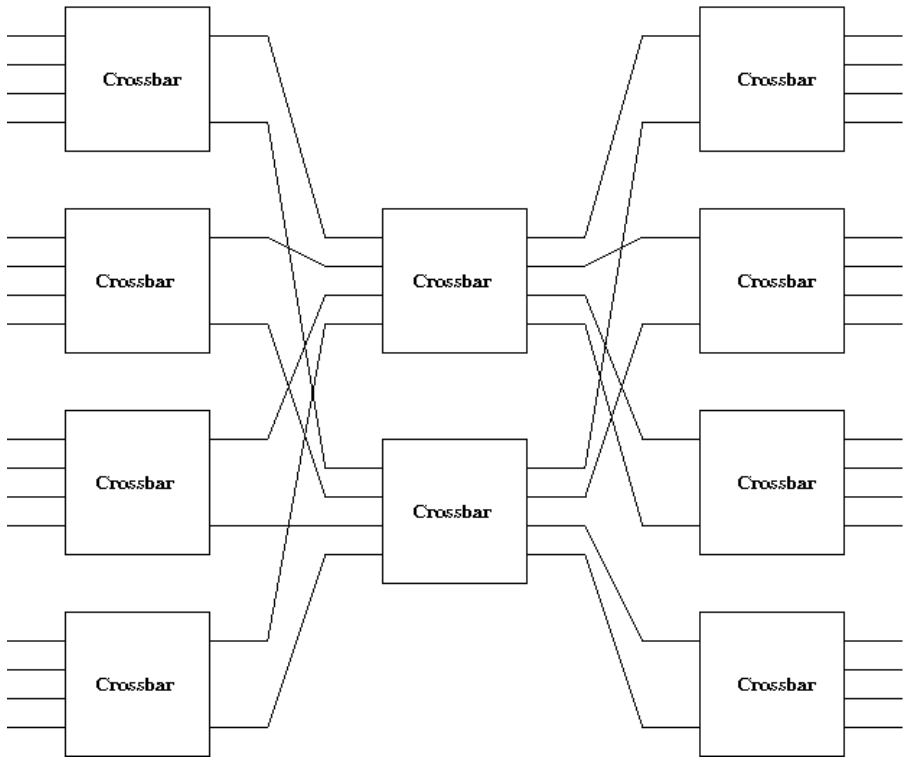
L'inconvénient majeur d'un commutateur spatial, c'est que le nombre de points de connexion croît comme le carré (si n=m) du nombre de lignes.

- C'est un problème de « connectique » comment faire un circuit intégré à 1000 broches ?

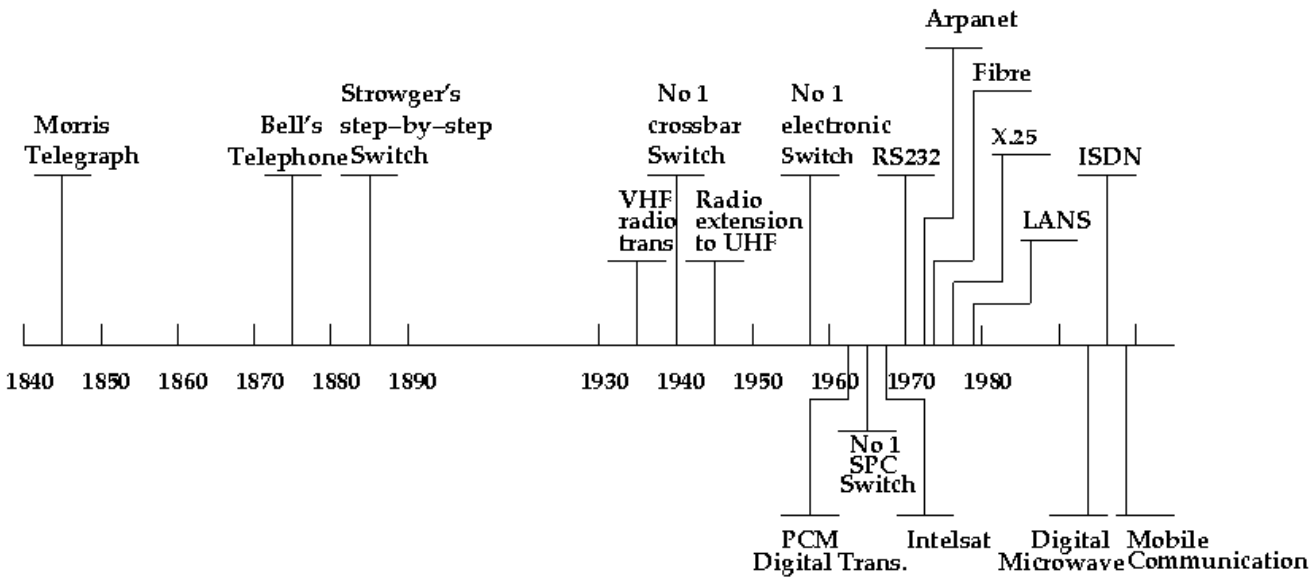
Commutateur multi-étages

En fractionnant un ≪ gros ≫ commutateur spatial crossbar en plusieurs plus petits et en les reliant entre eux sous forme d'un réseau d'interconnexion spatial, il est possible de construire un système de commutation spatiale **multi-étages** :

- Pour un nombre de lignes identiques, **beaucoup moins de points de connexion** !
- Le dimensionnement doit être judicieusement choisi pour ne pas aboutir à des blocages restreignants les possibilités de connexions ≪ simultanées ≫ du réseau !



Automatisation de la commutation



Phase 1 : Téléphonie

Trafic : Voix
Commutation : Circuit (analogique)
Média :cuivre, micro onde

Phase 2 : Numérique

Trafic : Voix
Comm. : Circuit (PCM)
Média :cuivre, ondes, satellite

Phase 3 : Données

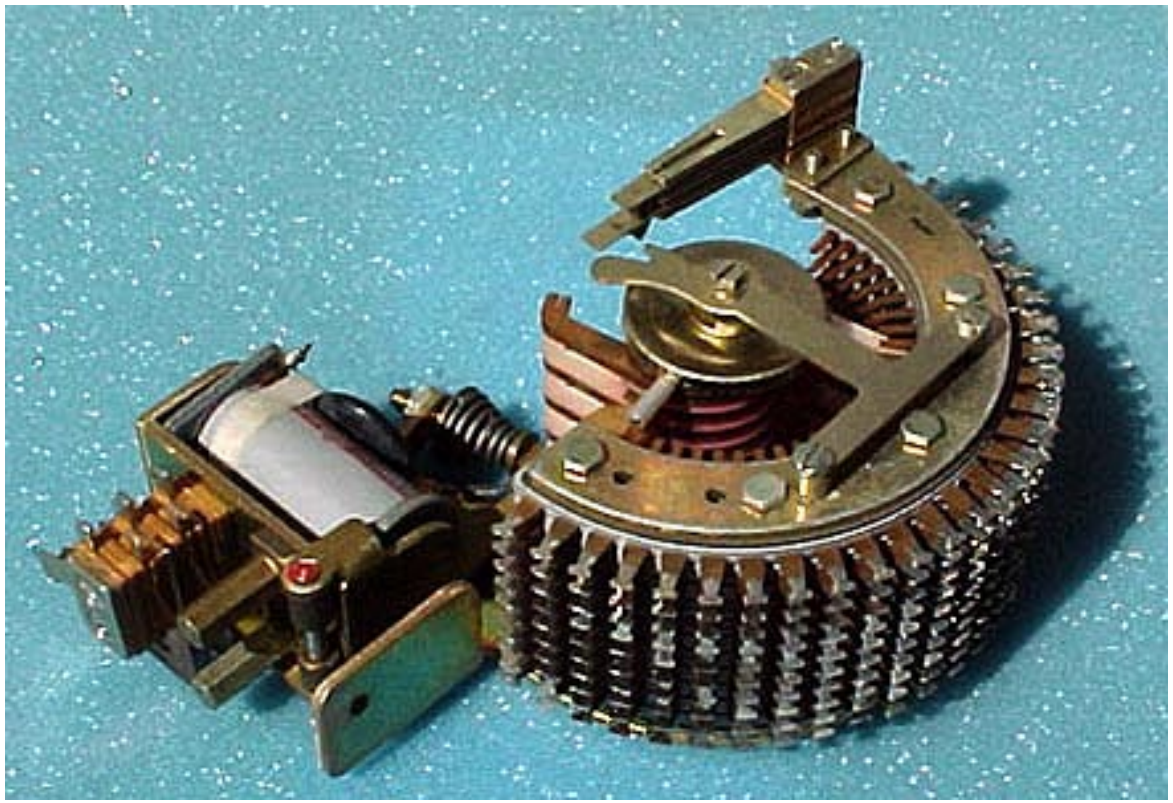
Trafic : Données
Comm. : Circuit, Paquets
Média :cuivre, ondes, satellite

Phase 4 : Intégration Numérique

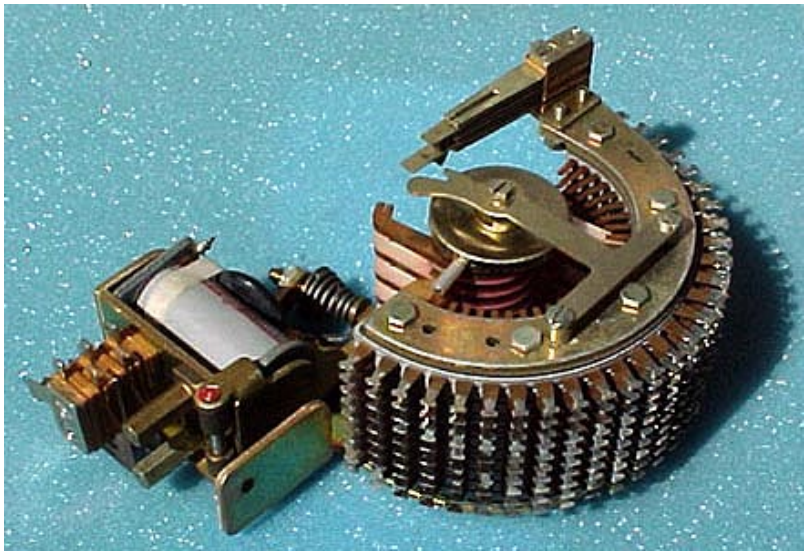
Trafic : Voix, Images, Données, Vidéo
Comm. : Circuit, Paquets, Cellules
Média :cuivre, ondes, satellite, fibre

Automatisation de la commutation

En 1889 A.B. Strowger invente le premier `commutateur électro-mécanique` (≪ two-motion step-by-step switch ≫)



La séquence d'impulsions est fournie par la composition du numéro sur un cadran ≪ tournant ≫ :



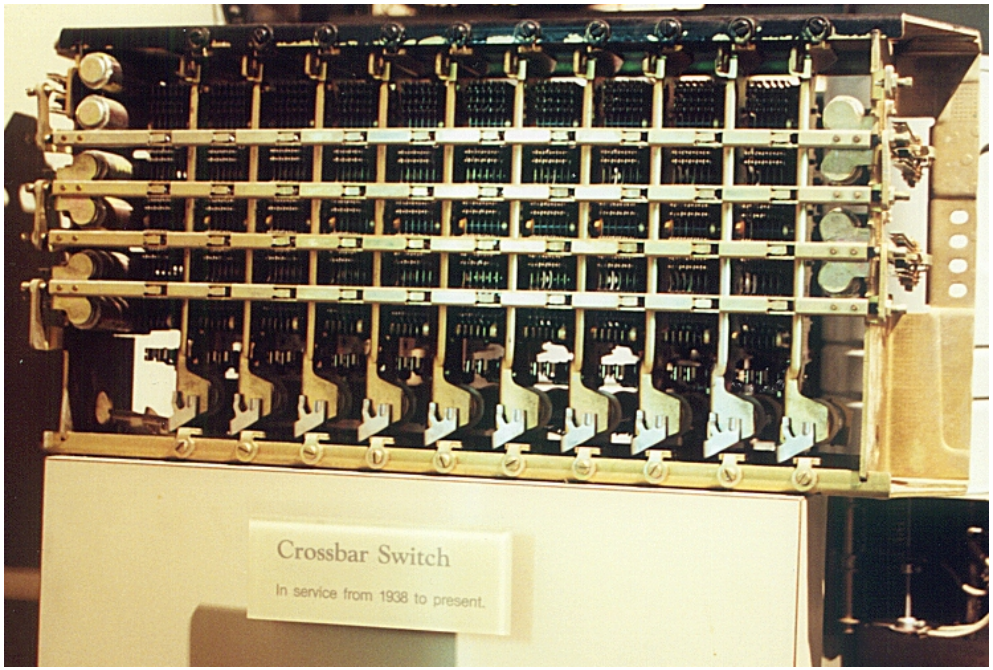
- Les appels sont désormais `établis` et `routés` de façon progressive,
- à travers un ensemble de **commutateurs électro-mécaniques**,
- et sous le contrôle des ≪ dialing pulses ≫ de l'utilisateur.

Ce premier commutateur est peu fiable.

- La commutation est obtenue en mettant en mouvement une roue à dix positions.

Crossbar électromécaniques

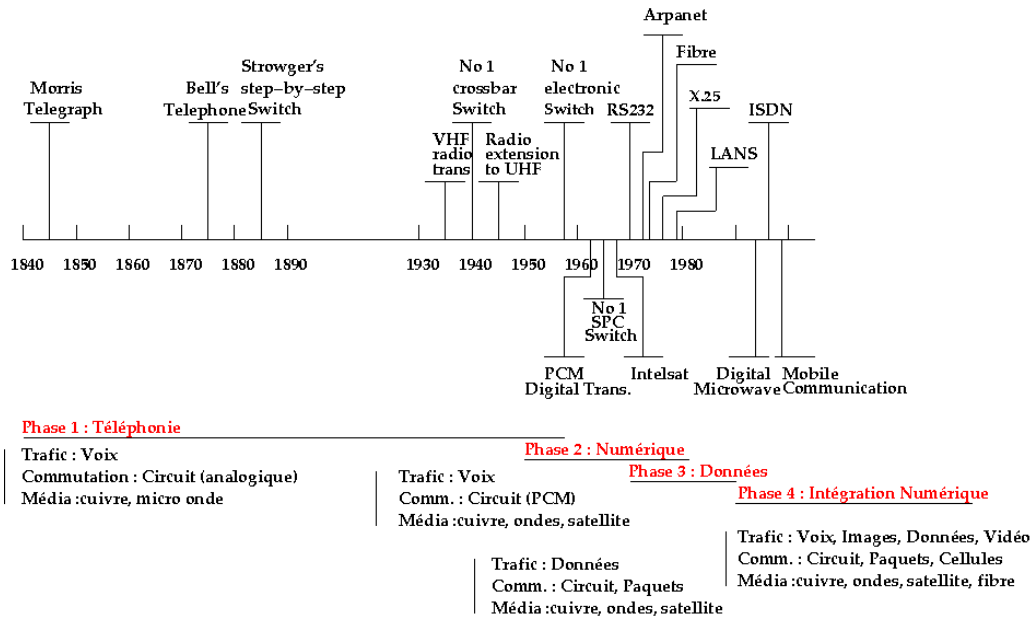
En 1932, le premier réseau `crossbar` est utilisé en Suède et en 1938, la compagnie `Bell System` développe le `No 1 Crossbar System`.



- Les crossbars utilisent des contacts à electro-aimants.
- **On gagne en longévité** des équipements puisqu'on minimise les pièces tournantes.

Transmission radio : début la radio moderne …

En 1933, la **radio FM** est brevetée par Edwin H. Armstrong.



≪ FM uses **frequency modulation** of the radio wave to **minimize static and interference** from electrical equipment and the atmosphere, in the audio program. ≫

- En 1937, W1XOJ est la première radio FM expérimentale.
- Dés les années 1930, la télévision analogique N&B est transmise par la FM en Europe, (1940 pour l'Amérique du Nord).

Modulation d'un signal source

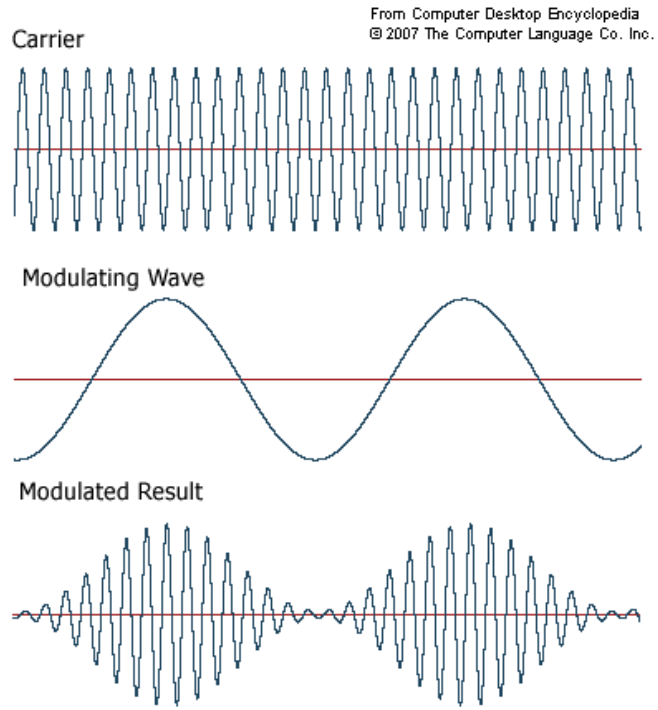
Le signal transportant l'information doit passer par un canal de transmission entre un émetteur et un récepteur.

➢ Or, le signal est rarement ≪ adapté ≫ à la transmission directe (on parle de bande de base) par le canal de communication choisi, hertzien, filaire, ou optique.

Modulation :

Processus par lequel le signal est **transformé de sa forme originale en une forme "adaptée" au canal de transmission**.

➟ par exemple en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence) d'une onde sinusoïdale appelée porteuse.



VHF et UHF

Cette évolution des techniques de modulations s'accompagne d'une augmentation des fréquences d'émission :

① Radio VHF (Very High Frequency)

- **bande de fréquence** : 30 MHz à 300 MHz
- **usages actuels** : Radiodiffusion et télédiffusion, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires, liaisons des secours publics, radionavigation et radiocommunications aéronautiques, radioamateurs, satellites météo, radioastronomie, recherches spatiales, ...

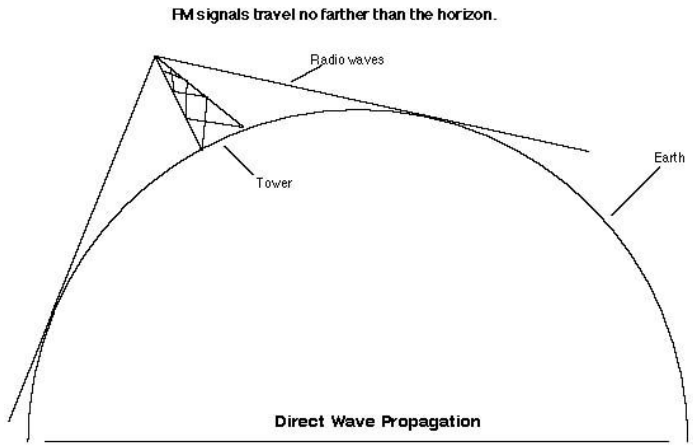
② Radio UHF (Ultra High Frequency)

- **bande de fréquence** : 300 MHz à 3 GHz
- **usages actuels** : Télédiffusion, radiodiffusion numérique, radioamateurs, radiocommunications professionnelles, transmissions militaires y compris aéronautiques, liaisons gouvernementales, liaisons satellites, FH terrestres, radiolocalisation et radionavigation, services de la DGAC, usages spatiaux, satellites météo, **téléphonie GSM et UMTS, liaisons Wi-Fi et Bluetooth**, systèmes radar, ...

Pourquoi la VHF (et la FM) ?

≪ FM uses frequency modulation of the radio wave to **minimize static and interference** from electrical equipment and the atmosphere, in the audio program. ≫

➢ Ca n'augmente pas la portée !

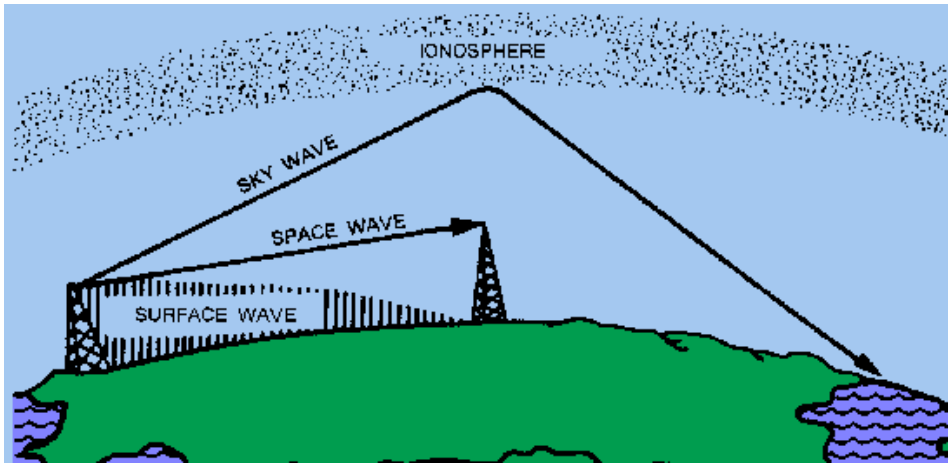


➢ Les signaux dans la bande de fréquence VHF ne se propagent normalement pas au-delà de la ligne d'horizon, ce qui nécessite des antennes situées sur des points hauts : on parle de **portée optique** .

Réflexion Ionosphérique

Il existe d'autres modes de propagation.

➢ Par exemple, les **ondes courtes** ($< 14 Mhz$) utilisent les couches ionosphériques :



L'ionisation de l'air par les particules solaires chargées électriquement permet une **réflexion des ondes**.

✔ en été, ou bien lors d'un pic d'activité solaire.

✔ lever et au coucher du soleil.

Ce phénomène peut exister de façon épisodique jusqu'à 50 Mhz mais il est donc réservé aux "basses fréquences".

➢ Les radio-amateurs utilisent ce phénomène sur leurs fréquences : 3.5MHz, 7MHz, et 14MHz.

➢ Cela permet de réaliser des contacts à des milliers de kilomètres.

Augmenter le fréquence pour pouvoir « partager » !

Fréquences	Utilisations
30,525 à 32,125 MHz	Réseaux privés
30,750 à 32,075 MHz	Appareils faible portée non spécifiques
31,300 MHz	Radiomessagerie sur site
32,125 à 32,500 MHz	Usage militaire
32,500 à 33,700 MHz	Réseaux privés
32,800 MHz	Microphones sans fils
33,000 à 34,850 MHz	Usage militaire
34,850 à 36,200 MHz	Réseaux privés
36,200 à 36,400 MHz	Microphones sans fils
36,400 à 37,500 MHz	Usage militaire
37,500 à 38,250 MHz	Radio-astronomie
39,000 à 40,600 MHz	Réseaux privés
40,660 à 40,700 MHz	Appareils faible portée non spécifiques
40,995 à 41,105 MHz	Aéromodélisme
41,100 à 41,200 MHz	Modélisme
41,205 à 41,245 MHz	Téléalarme pour personnes âgées jusqu'au 31/12/2005
41,310 à 41,475 MHz	Téléphones sans fils
47,000 à 47,120 MHz	Réseaux privés
47,400 à 47,600 MHz	Réseaux privés en région parisienne seulement
47,600 à 47,700 MHz	Réseaux privés
50,200 MHz	Liaison vidéo sol-train, en région parisienne
50,200 à 51,200 MHz	Trafic radioamateur
55,750 à 63,750 MHz	Télévision bande I
56,330 MHz	Liaison vidéo sol-train, en région parisienne
62,860 MHz	Liaison vidéo sol-train, en région parisienne

68,000 à 68,460 MHz	Usage militaire
68,462 à 69,250 MHz	Réseaux privés
69,250 à 70,000 MHz	Usage militaire
70,250 à 70,525 MHz	Réseaux privés
70,525 à 70,975 MHz	Usage militaire
70,975 à 71,950 MHz	Réseaux privés
71,300 à 71,800 MHz	Appareils faible portée non spécifiques
72,200 à 72,500 MHz	Modélisme
72,500 à 73,300 MHz	Réseaux privés
73,300 à 74,800 MHz	Gendarmerie nationale
74,800 à 75,200 MHz	Radiolocalisation aéronautique (Marker)
75,200 à 77,475 MHz	Réseaux privés, taxis
77,475 à 80,000 MHz	Gendarmerie nationale
80,000 à 82,475 MHz	Réseaux privés
82,475 à 83,000 MHz	Usage militaire
83,000 à 87,300 MHz	Police, pompiers, SAMU
87,300 à 87,500 MHz	Radiomessagerie unilatérale : alphapage, biplus ou eurosignal
87,500 à 108,000 MHz	Radiodiffusion FM bande II
108,000 à 117,950 MHz	Radio Navigation Aéronautique (VOR et ILS)
118,000 à 136,975 MHz	Trafic aéronautique, Bande aéronautique VHF (fréquence de détresse 121,5 MHz)
137,000 à 138,000 MHz	Liaisons satellitaires descendantes (Satellites Météo)
138,000 à 143,975 MHz	Usage militaire
143,9875 MHz	Fréquence réservée ≪ vol libre ≫ en FM
144,000 à 146,000 MHz	Trafic radioamateur, bande des 2 mètres (APRS, AX.25).
146,000 à 156,000 MHz	Trafic aéronautique (liaisons satellitaires montantes de 148 MHz à 150 MHz)
151,005 à 152,990 MHz	Réseaux privés
152,000 à 152,020 MHz	Radiomessagerie sur site
152,570 à 152,655 MHz	Appareils faible portée non spécifiques

152,990 à 155,995 MHz	Réseaux privés
154,980 à 155,180 MHz	Liaisons fixes d'abonnés isolés
155,995 à 162,995 MHz	Réseaux privés en dehors des côtes
156,025 à 157,425 MHz	Trafic maritime et fluvial, bande ≪ VHF marine ≫ veille sur le Canal 16
160,625 à 160,950 MHz	Trafic maritime et fluvial, bande ≪ VHF marine ≫
161,550 à 162,025 MHz	Trafic maritime et fluvial, bande ≪ VHF marine ≫
162,500 à 162,525 MHz	Trafic maritime et fluvial, bande ≪ VHF marine ≫
164,800 à 168,900 MHz	Réseaux privés
169,410 à 173,815 MHz	Radiomessagerie norme ERMES
169,795 à 173,495 MHz	Réseaux privés
173,500 à 174,000 MHz	Police, pompiers, SAMU
174,000 à 223,000 MHz	Télévision bande III
174,000 à 234,000 MHz	DAB bande III
175,500 à 178,500 MHz	Microphones sans fil
183,500 à 186,500 MHz	Microphones sans fil
223,500 à 225,000 MHz	Appareils faible portée non spécifiques jusqu'au 31 décembre 2005
225,000 à 400,000 MHz	Bande aéronautique VHF et liaisons satellitaires militaires

Université Nice SOPHIA ANTIPOLIS

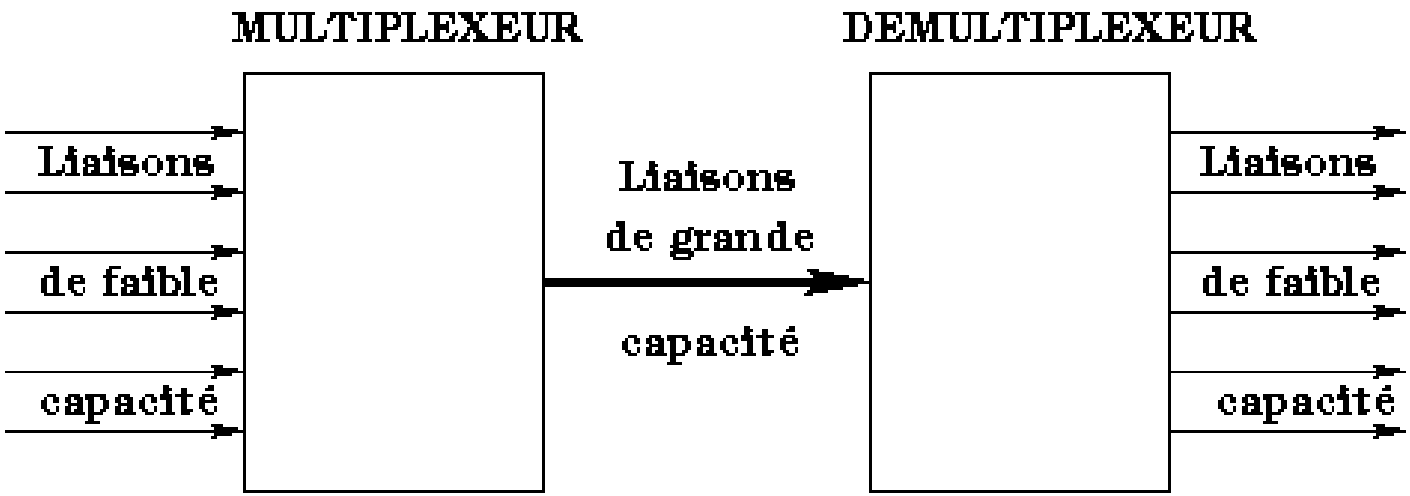
Multiplexage

- Partager le médium . . .

Définition du multiplexage

Un mécanisme de partage de liaisons :

Par exemple, les données provenant de plusieurs liaisons ”de faible” capacité sont regroupées en un bloc unique transmis sur une liaison ”de grande” capacité.



➢ Le démultiplexage est l’opération inverse.

Université Nice SOPHIA ANTIPOLIS

Multiplexage et démultiplexage correspondent à un seul et même objectif :

- ➢ permettre à plusieurs utilisateurs de se partager un même support physique de transmission,
- ➢ si possible en ayant l'impression d'être le seul à utiliser ce support !

Cette exploitation simultanée du média de transmission se justifie par deux facteurs :

① le coût initial élevé du montage des liaisons de transmission sur longues distances et/ou de grande capacité

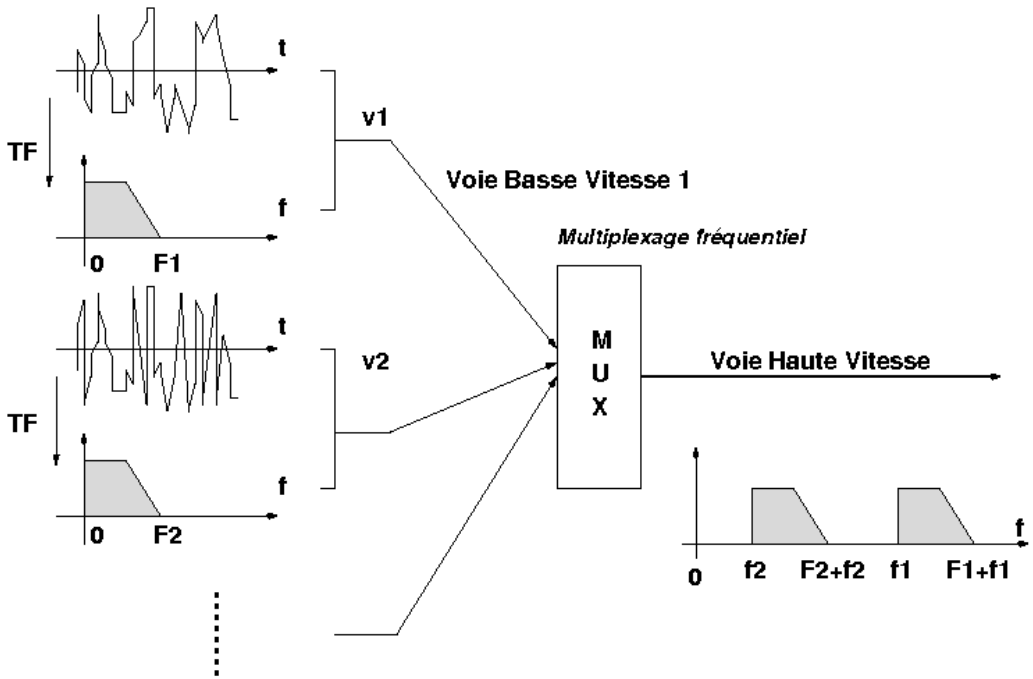
② leur rentabilité et notamment le fait que celles-ci ne soient pas toujours utilisées intégralement.

Il existe plusieurs implémentations dont :

- ➢ le **multiplexage fréquentiel**,
- ➢ le **multiplexage temporel**.

Dans le **multiplexage fréquentiel**,

- les spectres de chaque voie `basse vitesse` se juxtaposent sur le spectre de la voie `haute vitesse`.



- **Effet de la modulation !**

Pour qu'il y ait ≪ transparence ≫, la voie haute vitesse doit avoir la capacité (débit, bande de fréquence, . . .) nécessaire pour absorber les voies basses vitesses.

Exemples de la radio FM et de l'ADSL

La radio FM

FM signifie `Frequency Modulation`.

➢ On verra plus loin à quoi cela correspond plus précisément.

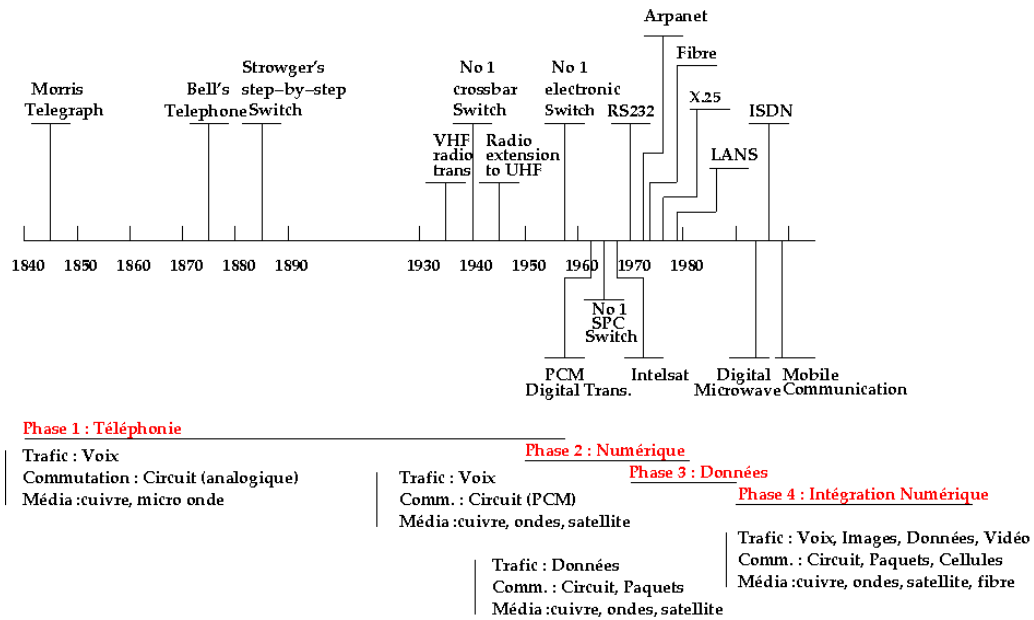
Mais dans un premier temps on peut constater que l'effet de cette modulation de fréquence est celui d'un multiplexage fréquentiel.

L'ADSL

L'ADSL est aussi une forme de modulation de fréquence sur la ligne téléphonique.

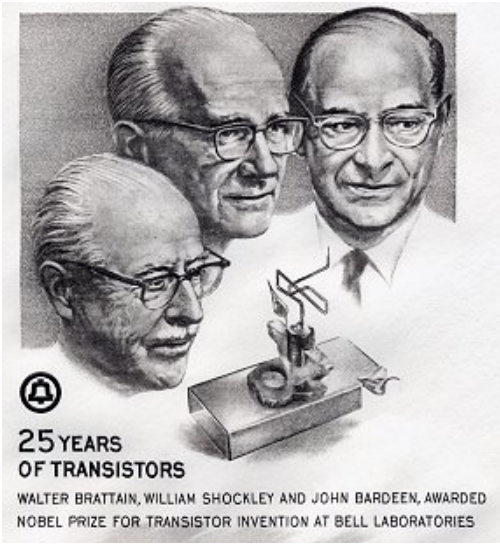
L'âge d'or de la téléphonie : 1950

- La guerre,
- L'électronique.



L'âge d'or

Tout de suite aprés (1950) commence l'age d'or de la téléphonie.


25 YEARS
OF TRANSISTORS
WALTER BRATTAIN, WILLIAM SHOCKLEY AND JOHN BARDEEN, AWARDED
NOBEL PRIZE FOR TRANSISTOR INVENTION AT BELL LABORATORIES

- **Invention du transistor**,
- **Automatisation d'un réseau longue distance**,
- Développement de **commutateurs électroniques**,
- Développement de la technologie **UHF** (Ultra High Frequency).

En 1951, le premier lien (100 répéteurs) commercial est en fonctionnement entre New-York et San Francisco.

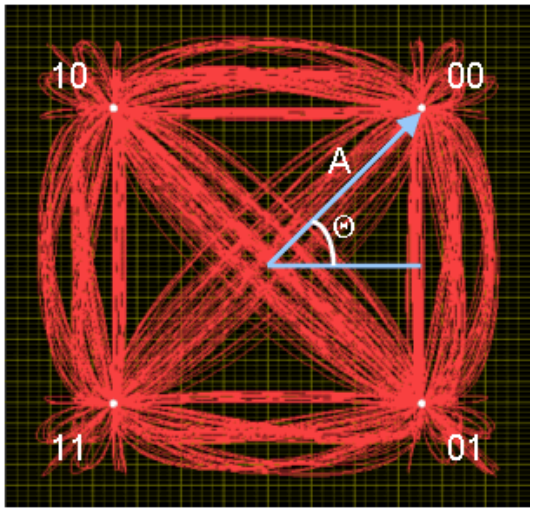
- Il opére à 4 Ghz avec une bande passante de 20MHz.

Radio numérique

Début 1970, apparition des **techniques radio numériques micro-ondes** :

- ➢ Les fréquences de transmission augmentent et on va donc pouvoir transmettre plus !

Début 1980, généralisation de l'utilisation d'une méthode de modulation dîte **QAM : Quadrature Amplitude Modulation** dans le cadre des systèmes de **relais radio numériques**.



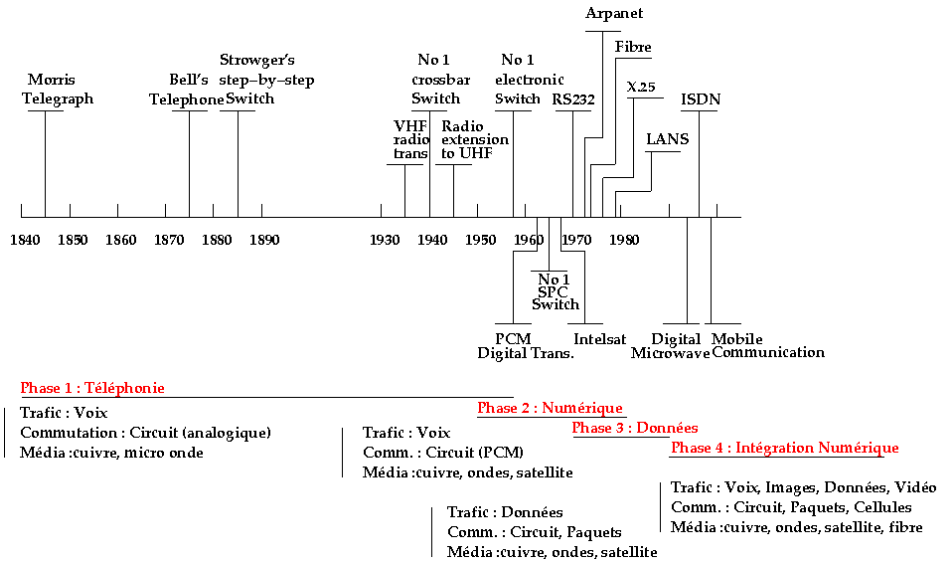
- ➢ On module l'amplitude et la phase de la porteuse selon l'information.

  Sur cet exemple, l'amplitude n'est pas utilisée et elle est constante !
- ➢ Cette modulation permet de **diminuer la bande de fréquence occupée** par un canal.
- ➢ Un signal analogique permet de transmettre une information numérique : 2 bits sur l'exemple.

Second phase d'évolution : le numérique

Ces points marquants sont :

- la **commutation logicielle**,
- la **transmission numérique**,
- et le **déploiement des satellites**



Phase 2 : Le numérique

La seconde phase de l'évolution des réseaux débute vers 1960.

En 1965, AT&T (American Telephone and Telegraph) introduit le premier **`stored-program`** `control local switch` (SPC) : ≪ 1 EES ≫.

- ➢ L'utilisation d'un **contrôle logiciel** des commutateurs permet l'introduction d'une famille de services (conversation à 3, call forwarding (report d'appel), . . .).
- ➢ Le logiciel de ≪ 1 EES ≫ contient environ 100.000 lignes de code assembleur.

Le commutateur devient un ordinateur :

- ✔ Un commutateur d'aujourd'hui peut contenir jusqu'à 10 millions de lignes.

Phase 2 : Le numérique

Dans un ESS, un ordinateur ≪ lit ≫ l'état des lignes de communications via des ≪ line scanners ≫ pour détecter quand et si un appel passe par elles.

Si c'est le cas, il réalise une commutation en combinant éventuellement deux techniques :

① **Commutation spatiale** = "space-division switching".

Throwing electrical switches – essentially the same thing as the older crossbar-matrix switching, but using solid-state devices.

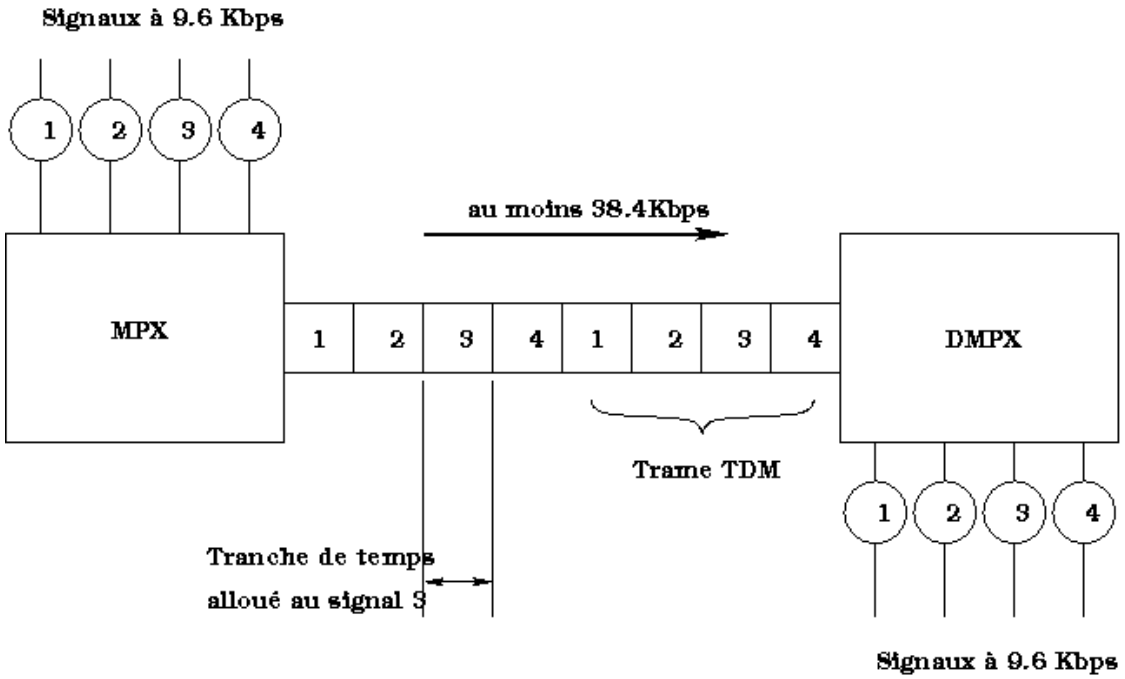
② **Commutation temporelle** = "time-division switching".

Avec l'augmentation des capacités de calcul, on va pouvoir introduire une nouvelle forme de commutation : la commutation temporelle.

➢ On modifie dynamiquement le ≪ contenu ≫ de la ligne grâce au **multiplexage** .

Multiplexage temporel

Le multiplexage par répartition dans le temps (**multiplexage temporel** ou **Time Division Multiplexing**) consiste à transmettre sur un même canal plusieurs signaux (`sous canaux`) en accordant une tranche de temps fixe à chacun.

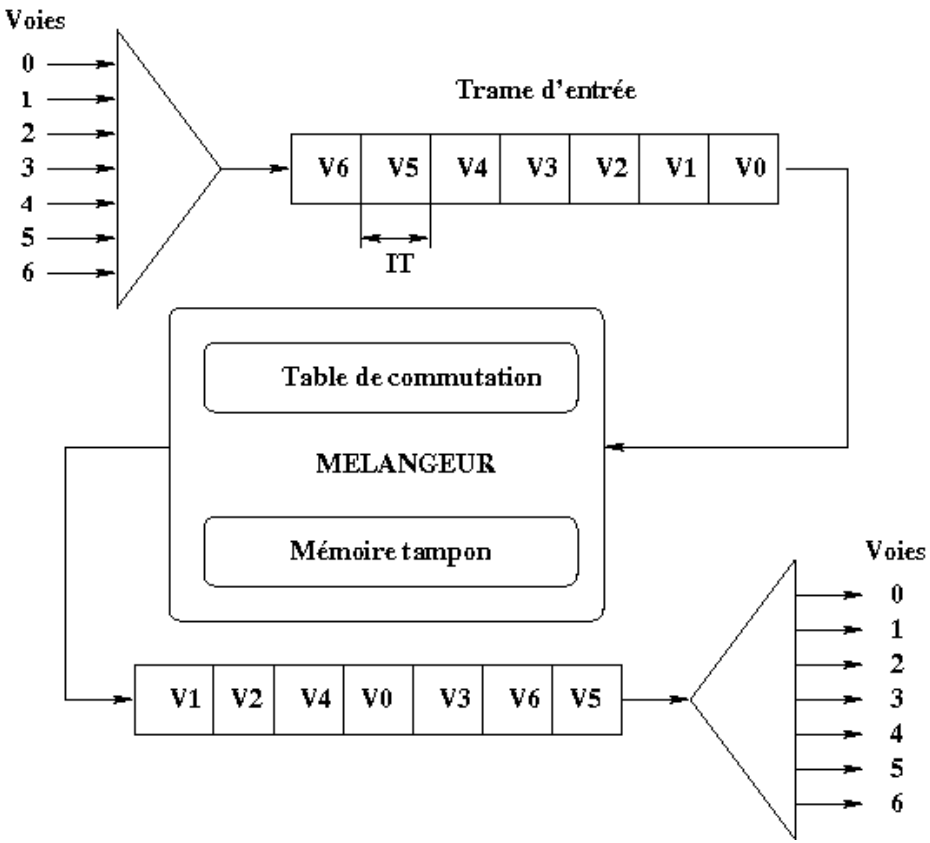


➢ Une trame TDM est constituée d'une tranche de temps de chacun des sous canaux.

Commutation temporelle

Le **commutateur temporel** est bâtit sur le multiplexage temporel :

- Le coeur du commutateur est un dispositif mélangeur qui comprend une mémoire tampon et une mémoire de commande.



Les positions des sous canaux sont translatées :

- Vu de l'extérieur, tout se passe comme s'il y avait eu une commutation de spatiale,
- mais aucune connexion physique n'est établie entre les lignes d'entrée et de sortie :

  Il s'agit seulement d'une liaison logique !

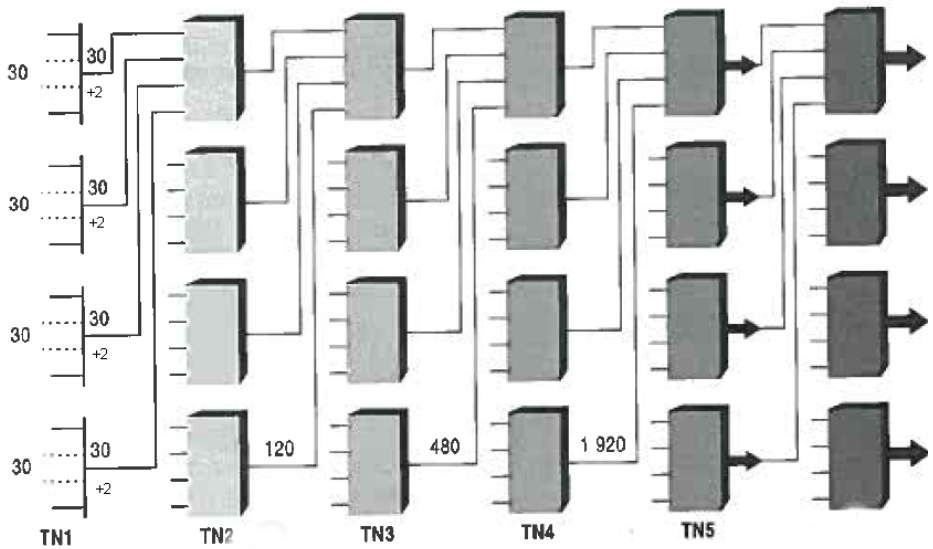
  $V5_E$ vers $V0_S$, ...

Réseaux ”TDM”

La parole est numérisée par la méthode MIC :

➢ 1 canal = 8000 échantillons par seconde à 8 bits par échantillon.

Entre 1960 et 1970, on assiste au développement d’une hiérarchie de voies de transmission numériques sur la base d’un canal à 64Kbps.



En conservant la transparence, on construit des voies de 30, 120, 480, . . . canaux ”parole”.

Réseaux ”TDM” français

C’est cette hiérarchie qui forme, encore aujourd’hui, l’ossature (`backbone`) des réseaux actuels.

- Un des systèmes les plus connus est le `T1 carrier` (Norme US) qui supporte 24 canaux, chacun à 64Kbps (parole) soit un total de 1.544 Mbps.

Pour les réseaux nationaux, le concept ≪ `TDM` ≫ se retrouve dans :

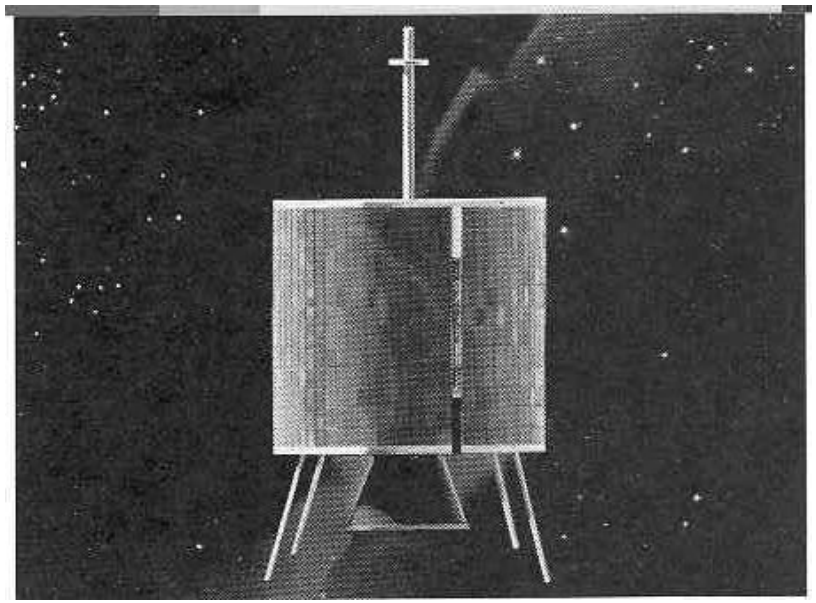
- RTC : Réseau Téléphonique Commuté,
- RNIS ou ISDN : Réseau numérique à Intégration de service,
- LL : Liaisons Louées.

Communication Satellitaire

Communications Satellitaires

L'idée d'un écrivain de science fiction (Arthur C.Clark en 1945) se réalise :

- En 1957, avec SPUTNIK et en 1958, avec EXPLORER,
- En 1962, le satellite TELSTAR d'AT&T est le premier capable de relayer un programme de télévision à travers l'océan Atlantique.
- Le 1er satellite civil de communication (INTELSAT) est lancé en 1965.



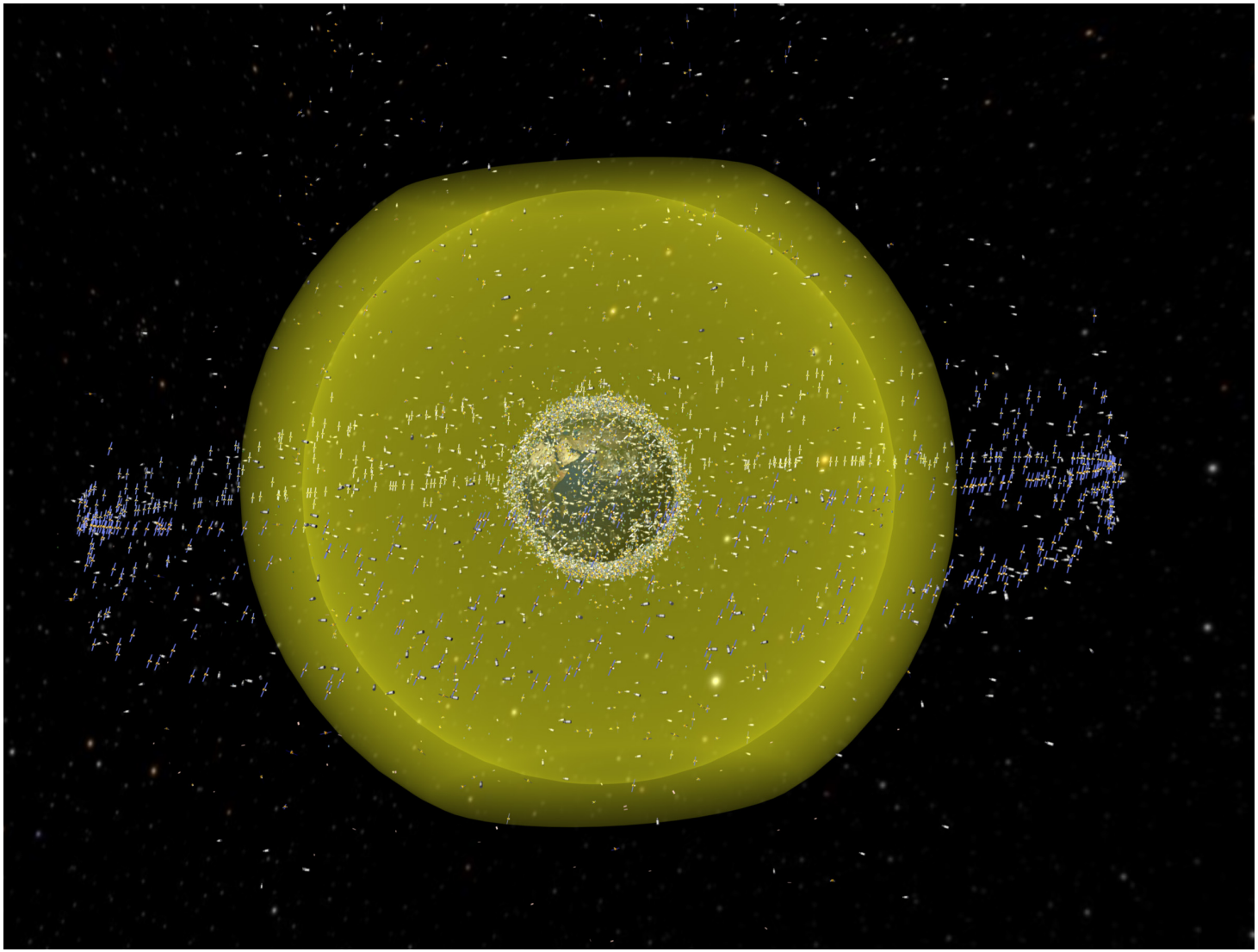
Evolution et progression

http://rammb.cira.colostate.edu/dev/hillger/communications.htm

Depuis 1965, le développement des télécommunications par satellite a suivi pas à pas le développement des techniques de mise sur orbite et le perfectionnement des satellites et des stations terriennes.

- De **240 voies téléphoniques** (**ou** un canal de **télévision**) pour les satellites Intelsat I et II (1965-1967)
- on passe, avec Intelsat III (1968-1970) à **1200** voies téléphoniques (**et** un canal de télévision),
- puis, avec la génération Intelsat IV (1971-1973), à **4000** voies téléphoniques (**et deux** canaux de télévision)
- et même **6 000** voies téléphoniques avec Intelsat IVA (1976).
- Le lancement des premiers satellites de la génération Intelsat V au début des années 1980 permettra de franchir une nouvelle étape dans la course aux performances (**12 000** voies téléphoniques **et deux canaux** de télévision)

La poubelle de l'espace : Satellites en MEO

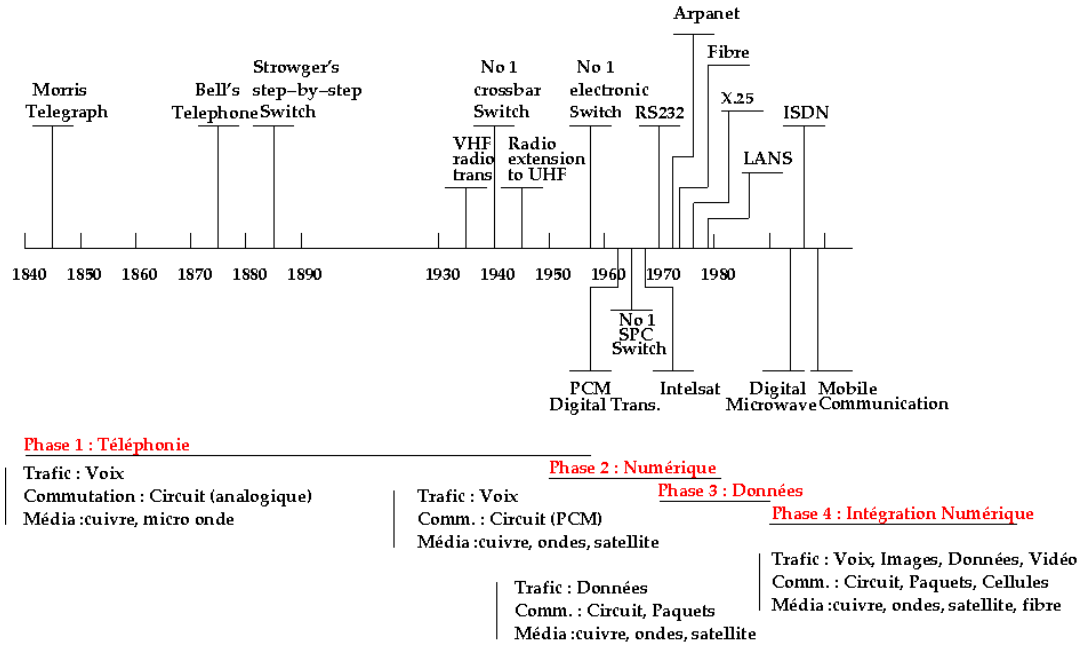


Réseaux de données

- Réseaux d'ordinateurs

Réseaux de données

La troisième phase de l'évolution des télécommunications débute en 1970.

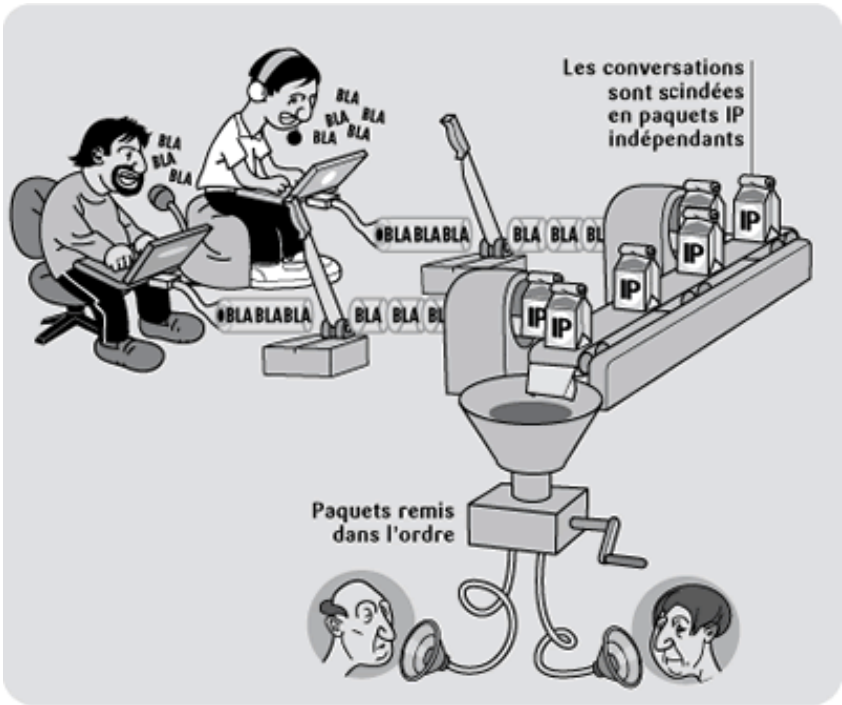


Elle est caractérisée par :

- l'**introduction des réseaux de données : data networks** ,
- la **technologie de la commutation de paquets : packet switching** .

Commutation de paquets

Leonard Kleinrock, du MIT, publie son premier texte sur la **transmission de données par paquets** et pose ainsi un des fondements de ce qui deviendra Internet.



Cette théorie propose un système qui **découpe les données informatiques lors de leur transmission**.

- ➢ Ces données peuvent être transmises en discontinu
- ➢ et être reconstituées par le récepteur.

Ce sera la méthode employée pour les données transmises par Internet :

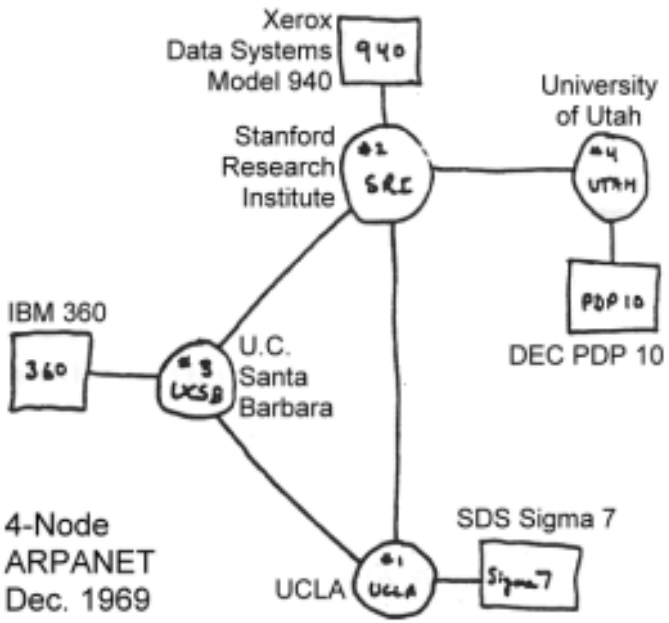
- ✔ le message est **découpé, envoyé par morceaux qui passent par des voies différentes et rassemblé par le récepteur**.

ARPANET, . . .

Le principe de **commutation de paquets** est repris par les concepteurs du projet Arpanet :

- un projet proposant une communication décentralisée par paquets.

En 1968, l'Advanced Research Project Agency (ARPA) et la DOD, finance cette proposition de réseau expérimental : **Arpanet**

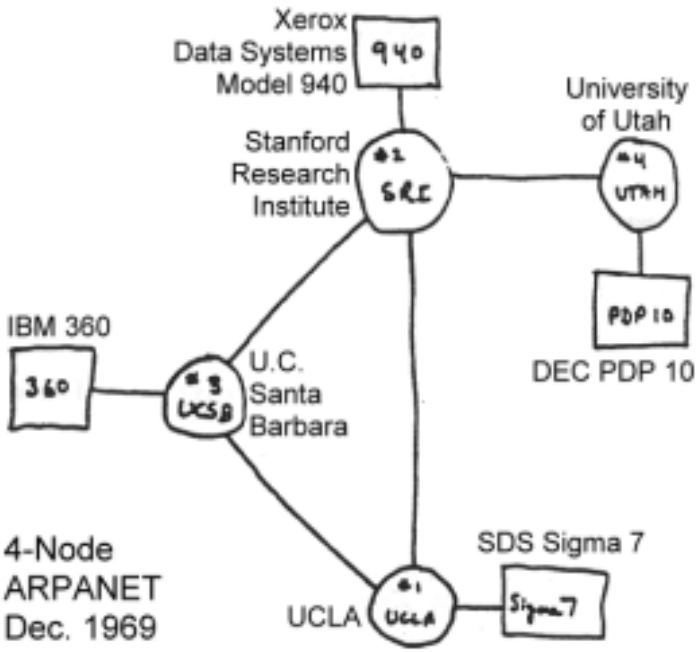


- L'objectif est de se protéger d'une possible attaque nucléaire en décentralisant l'information et son traitement.
- En fait, le précurseur d'Internet n'aura pas d'application militaire mais se développera au sein des Universités américaines, notamment dans l'Ouest.

ARPANET, . . .

En 1969 : Le premier nœud de raccordement d'Arpanet est installé dans l'université de Columbia dans l'Etat de New-York.

Suivront celles de la Californie (UCLA), de l'Utah et l'institut de recherche de Standford.



- Le réseau Arpanet, communément considéré comme l'ancêtre d'**Internet, est né**.
- Les premières données sont échangées à une vitesse de 50kbits/s et le réseau de **quatre ordinateurs** s'avèrera opérationnel dès la fin de l'année

ARPANET, . . .

En 1972 premier courrier électronique et première démonstration publique.

1983, Arpanet bascule vers ”le” **protocole TCP/IP** . . .

L’offre commerciale de réseaux similaires suit rapidement et cette expérience fait des émules :

- projets DATAPAC au Canada,
- CYCLADES et CIGALE en France.

Les premiers protocoles

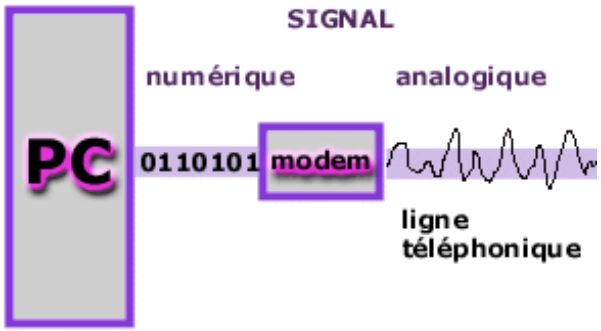
Au fur et à mesure que **les réseaux de données progressent vers la mise en communication d'ordinateurs (et plus seulement de terminaux), on assiste aux développements des protocoles de communications**.

- Qu'est ce qu'on échange ?
- Sous quelle forme ?
- A quelle vitesse ?
- Quelle prise utiliser ?
- Quand doit on répondre ?
- Dans quel ordre ?
- Peut on garantir l'échange ?
- . . .

ASCII et RS232

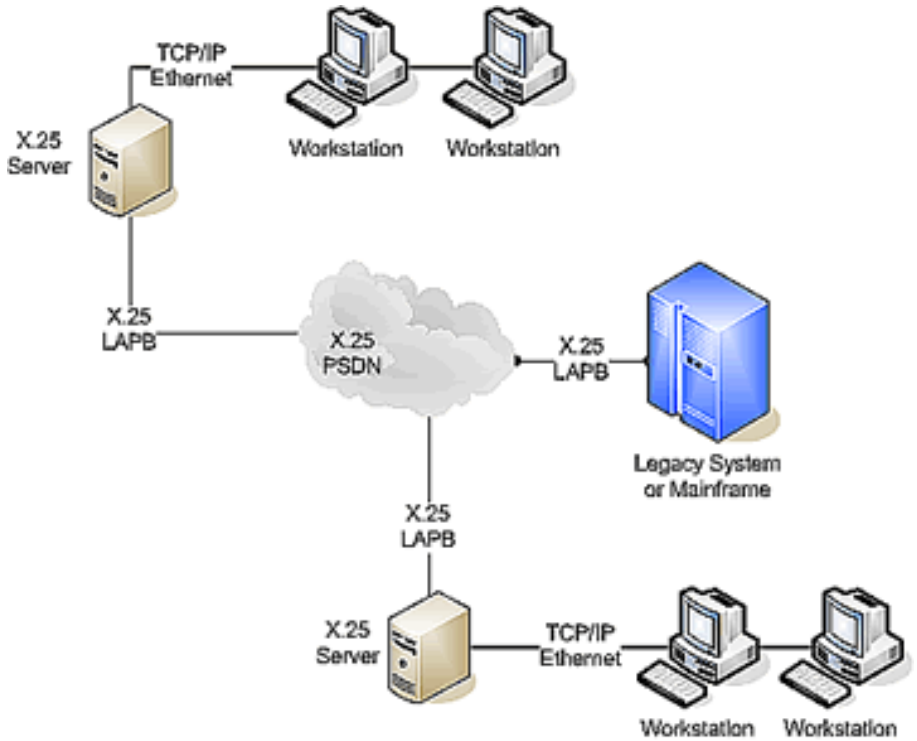
Deux standards jouent un rôle prépondérant dans le développement des réseaux de données.

1. Une méthode de codage des informations : ASCII
2. Une méthode de transmission de l'information encodée via un modem sur un réseau téléphonique : RS-232D



Le début de l'interopérabilité : X25

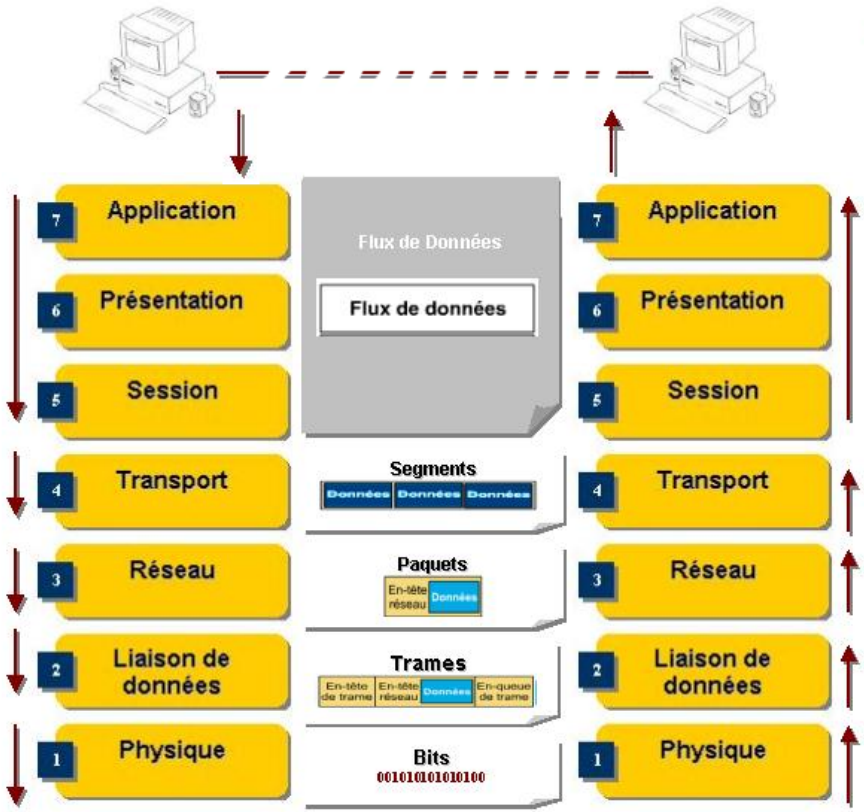
En 1976, pour **améliorer la compatibilité** entre les ordinateurs et les réseaux « pachet–switched », le CCITT (devenu le ITU–TSS) a établi un protocole standard mondial : **X.25**.



➢ Ceci a conduit a bien d'autres protocoles pour interconnecter plusieurs réseaux.

OSI

En 1978, l'≪ **International Organization of Standardization (ISO)** ≫ publie sa modélisation sur 7 niveaux de protocoles, d'une interconnexion (Open System Interconnection) pour la communication de données.

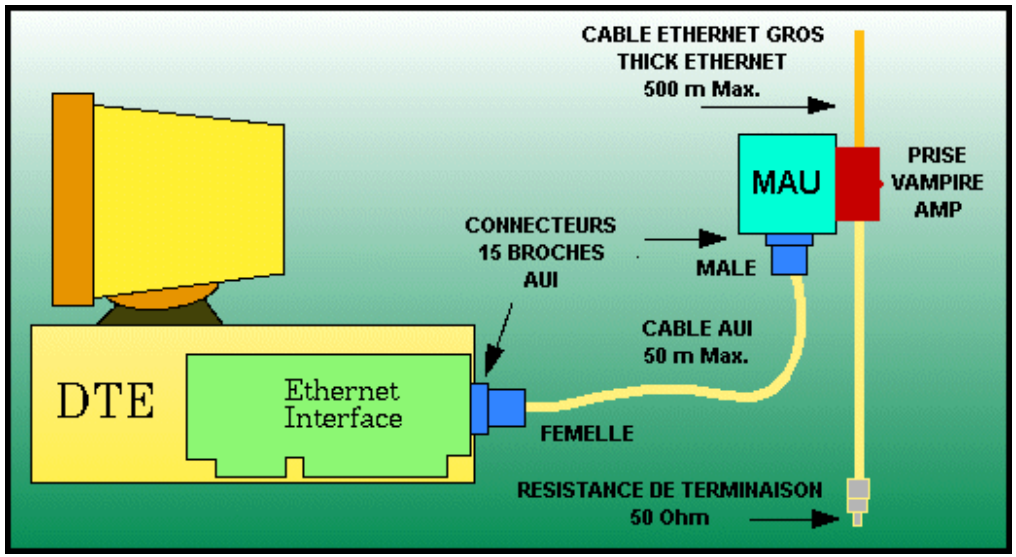


Objectif de OSI :

permettre à n'importe quel ordinateur situé n'importe où dans le monde de communiquer avec les autres (respectant eux–mêmes le standard OSI).

Les réseaux locaux

Cette phase de développement est aussi caractérisée par l'introduction et le large succés des **réseaux locaux** (LAN : Local Area Network).

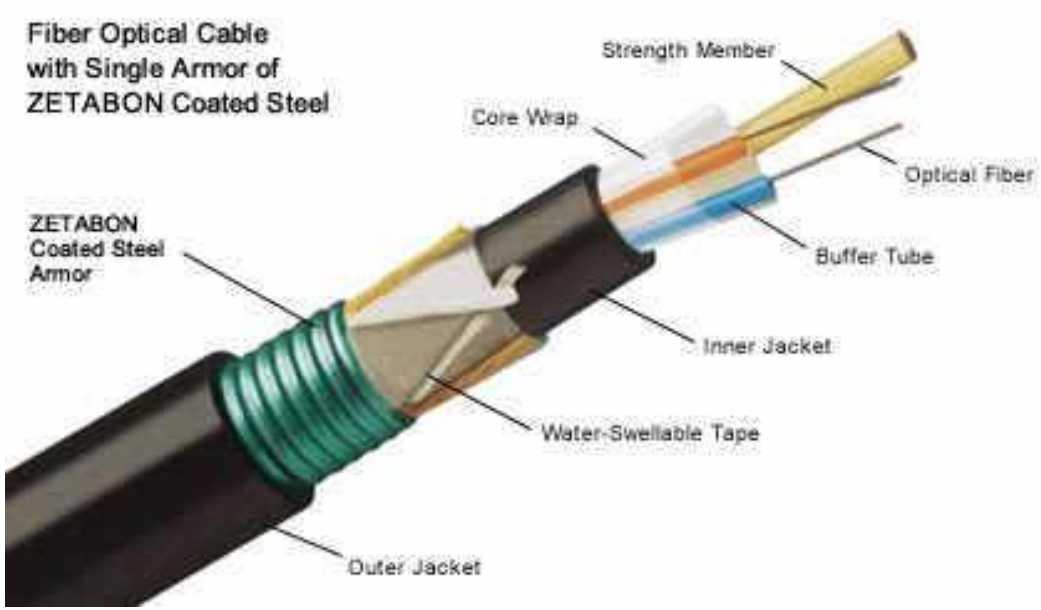


Le plus vieux et le plus connu ≪ Ethernet ≫ est issu d'un projet de Xerox dirigé par R.M. Metcalfe.

- **Ethernet** s'inspire largement d'Alohanet, un réseau radio par paquets développé par N. Abramson à l'Université d'Hawaï.

La vitesse de la lumière

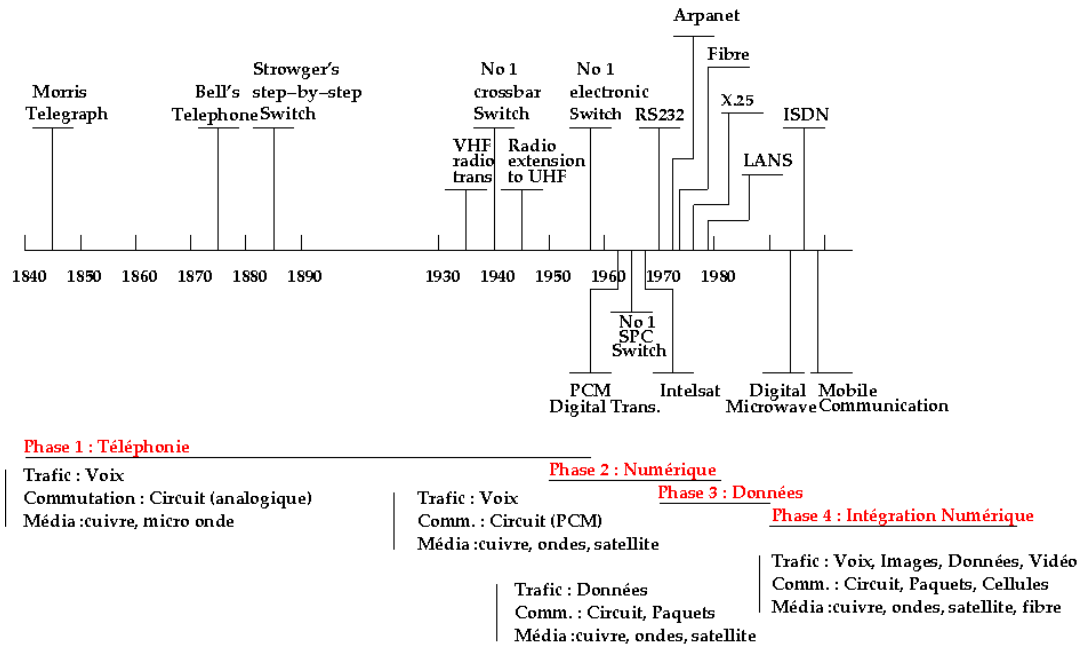
En 1970, Corning Glass Works publie ses résultats sur la **fibre optique**.



➢ ses principales qualités sont la faible “érosion” du signal sur de grandes distances et la largeur de la bande passante .

Phase 4 : Mobilité et Ubiquité

- Un seul réseau,
- Partout,
- Et pour tout faire !



ISDN-RNIS : pour tout faire !

La quatrième phase de l'évolution commence début 1980.

Elle correspond :

- ➢ à la **mise en service de Réseaux Numérique à Intégration de Services** (RNIS = ISDN = Integrated Services Digital Networks)
- ➢ et à l'**explosion des communications mobiles**.

≪ ISDN ≫ est une **forme de réseau généraliste** (≪ general–purpose ≫) capable de proposer un large spectre de services :

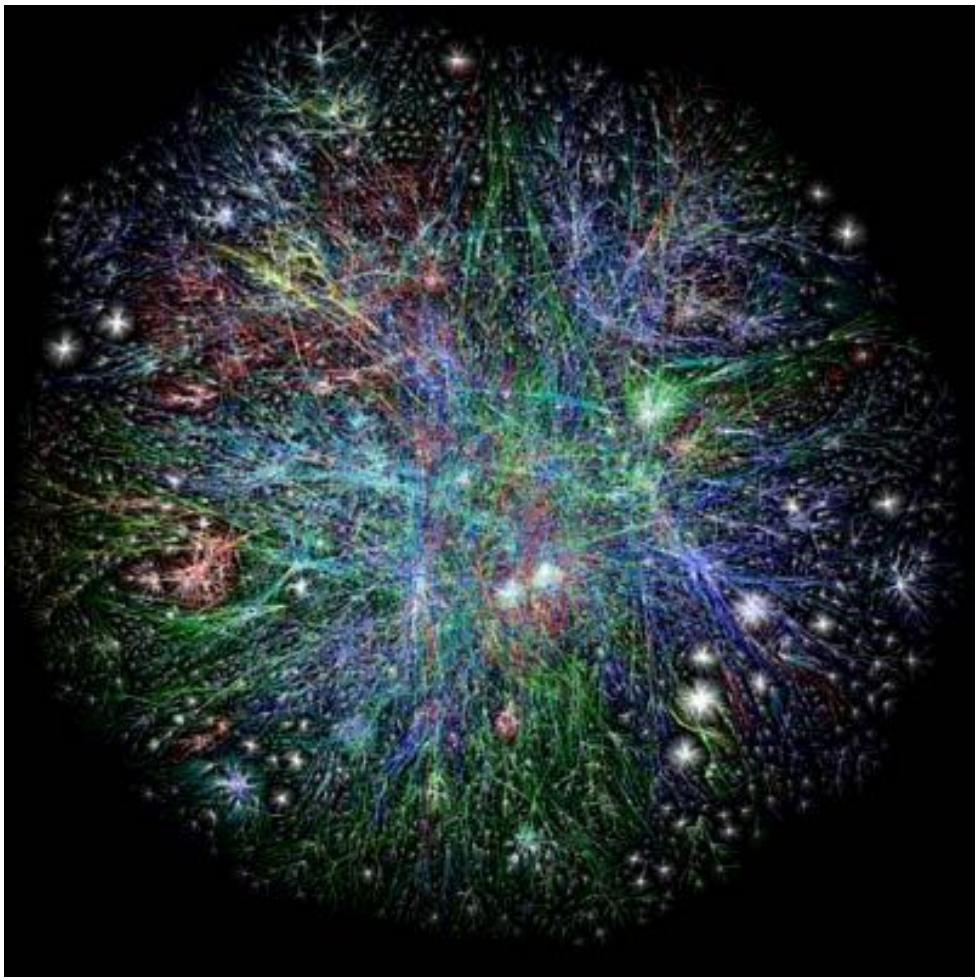
- voix,
- données,
- images.

Cette "convergence" vers ISDN n'aura pas lieu :

- ➢ C'est Internet qui va prendre cette place !

Internet : un !

Vers 1990, Internet (et les logiciels libres) explosent . . .



. . . On vit encore la déflagration !

Mobile : partout !

Le téléphone GSM est une instance des « Communications mobiles ».

➢ C'est l'accés aux communications mobiles pour le plus grand nombre.

Les « Communications mobiles » voudraient :

➢ Etre aussi **performantes** que les communications filaires en débits et en convergence de flux (audio, Web, TV, . . .),

➢ Devenir satellitaires et nous permettre de communiquer **partout et tout le temps,**

➢ Devenir économes en énergie : **longtemps**.

Index :